Über

die Production von Kohlensäure

durch

getötete Pflanzenteile.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doctorwürde

der

hohen philosophischen Facultät

der

Universität Rostock

vorgelegt von

Georg Brenstein

aus Leer in Ostfriesland.

Kiel, 1887.

Druck von A. F. Jensen.

Über

die Production von Kohlensäure

durch

getötete Pflanzenteile.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doctorwürde

der

hohen philosophischen Facultät

der

Universität Rostock

vorgelegt von

Georg Brenstein

aus Leer in Ostfriesland.

Kiel, 1887.

Druck von A. F. Jensen.

Referent: Herr Professor Dr. **Falkenberg**.

Seinem teuren Vater

in Liebe und Danbarkeit

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553607_0133

Einleitung.

Von jeher hat die Atmung, dieser ebenso interessante als wichtige Teil der regressiven Stoffmetamorphose, sowohl der Tiere als Pflanzen, dem Physiologen ein besonderes Interesse abzugewinnen vermocht und ist bereits vielfach Gegenstand recht eingehender Untersuchungen gewesen, sodass die physiologische Litteratur daher schon eine beträchtliche Zahl von Arbeiten auf diesem Gebiet aufzuweisen vermag. Und wenn man auch noch keine genaue Kenntniss aller bei der Atmung auftretenden Zersetzungs- und Oxydationsprodukte besitzt, so hält man doch die Atmung der Tiere und Pflanzen im wesentlichen für identisch und weiss, dass in beiden Fällen eine Aufnahme von Sauerstoff und Ausscheidung von Kohlensäure[1]) stattfindet.

Hinsichtlich der bislang über den Atmungsprozess aufgestellten Theorieen möge nur kurz erwähnt sein, dass einige Forscher, wie Schoenbein, Reinke, Hoppe-Seyler, Traube, Nencki und Sieber, Nägeli eine Aktivirung, d. h. atomistische Spaltung, des aufgenommenen Sauerstoffes, sei es durch Ozonbildung, oder durch vorhandene autoxydable, d. h. schon durch passiven Sauerstoff bei gewöhnlicher Temperatur oxydirbare Stoffe, s. g. Oxydationsfermente, Sauerstoffüberträger oder Autoxydatoren, sei es durch nascierenden Wasserstoff, sowie endlich durch besondere Molekularbewegungen, annehmen, während andere wie Pflüger, Pfeffer, Schmiedeberg, anderen Vorstellungen huldigen.[2])

Mir lag nun die interessante Frage vor, einmal zu untersuchen, ob sich auch noch in dem toten Pflanzenkörper eine Kohlen-

---

[1]) Mit Kohlensäure ist hier natürlich stets das Kohlensäureanhydrid oder Kohlendioxyd von der Formel $C\,O_2$ gemeint. Obgleich diese Bezeichnung hierfür im streng wissenschaftlichen Sinne falsch ist und nur der in Wasser gelösten Säure von der Formel $H_2\,C\,O_3$ zukommt, so glaubte ich doch, diese Ausdrucksweise beibehalten zu dürfen, weil sie sich im täglichen Leben zu sehr eingebürgert hat.

[2]) Vgl. J. Reinke, die Autoxydation in der lebenden Pflanzenzelle, Botanische Zeitung, 1883, p. 65 ff.

säureproduktion nachweisen lässt. Dafür, dass noch postmortale in den Pflanzen chemische Prozesse stattfinden müssen, sprechen schon die von Saussure, Marcet, A. Mayer, Wolkoff[1]) und anderen Forschern gemachten Beobachtungen eines Sauerstoffkonsums in toten Pflanzenorganen. Ob jedoch noch post mortem eine Kohlensäureproduktion stattfindet, darüber ist bislang meines Wissens nichts bekannt geworden. Auch hat Wortmann[2]) eine Entwickelung dieses Gases im sauerstofffreien Raum bei toten Keimpflanzen nicht nachweisen können.

Es dürfte daher von einigem Interesse sein, die Ergebnisse der von mir hierüber angestellten Untersuchungen zu erfahren. Dieselben haben die in hohem Grade merkwürdige Thatsache ergeben, dass, wenigstens bei den von mir daraufhin untersuchten Pflanzen, in der That noch post mortem eine deutlich nachweisbare, zum Teil sogar sehr beträchtliche Kohlensäureproduktion stattfindet.

Auch hier verdankt diese noch im abgestorbenen Pflanzenkörper auftretende Kohlensäure ihre Entstehung, wie in der lebenden Pflanzenzelle, einem Oxydationsprozess, indem es leicht oxydirbare Stoffe sind, die durch den atmosphärischen Sauerstoff einer Oxydation unter Freiwerden von Kohlensäure unterliegen.

Noch interessanter wird diese Erscheinung, indem es mir möglich war, nachzuweisen, dass bei zunehmender Temperatur auch eine Vermehrung der Kohlensäurebildung und somit lebhaftere Oxydation eintritt. Ja es gelang sogar, die Entstehung eines Teils der gebildeten Kohlensäure auf den Verbrauch von vorhanden gewesenen löslichen Kohlehydraten, speciell Glykose, zurückzuführen.

Zunächst war es nun meine Hauptaufgabe, den thatsächlichen Nachweis einer noch post mortale stattfindenden Kohlensäurebildung zu liefern. Nachdem diese durchaus sicher constatiert war, wurde sodann versucht, die in einem bestimmten Zeitraum ausgeschiedene Menge von Kohlensäure auch quantitativ zu bestimmen. In beiden Fällen bediente ich mich sowohl zum Nachweis als auch zur quantitativen Bestimmung einer wässrigen Lösung von Baryumhydroxyd, deren Darstellung und Aufbewahrung unten näher angegeben ist. Weiterhin vermochte ich sodann festzustellen, dass diese Kohlensäureentstehung lediglich durch den atmosphärischen Sauerstoff bewirkt wird, und dass die Quantität derselben in hohem Grade

[1]) Landw. Jahresber. 1874, Bd. III, p. 524.

[2]) Arbeiten d. Wurzb. botanischen Instituts, 1880, Bd. II, p. 506.

von der Temperatur abhängig ist. Endlich versuchte ich noch durch eine Reihe von quantitativen Zuckerbestimmungen zu ermitteln, ob sich ein Konsum an löslichen Kohlehydraten in dem Versuchsmaterial als Folge einer Oxydation unter Bildung von Kohlensäure konstatieren liess und kam, wie schon erwähnt, auch hier zu positiven Resultaten.

Als Material für meine Untersuchungen wählte ich teils phanerogame Pflanzen, teils Meeresalgen. Von ersteren waren es Keimpflanzen von Gerste und Weizen sowie Elodea canadensis, Aegopodium Podagraria und Anthriscus silvestris, von letzteren einige Fucusarten und Desmarestia aculeata, die ich in den Kreis meiner Untersuchungen hineinzog.

Es möge gleich hier bemerkt werden, dass auf die Auswahl der Pflanzen eine besondere Sorgfalt verwendet wurde, um zu den einzelnen Versuchen möglichst gleichwertiges Material zu haben. Ausserdem wurden zuvor entsprechende Parallelversuche mit lebenden Pflanzen gemacht, um aus der Menge der im lebenden Zustande gebildeten Atmungskohlensäure auf die Güte des Versuchsmaterials schliessen zu können. Schliesslich sei noch bemerkt, dass zur Verhinderung jeder etwa noch möglichen antagonistisch wirkenden Kohlenstoff-Assimilation die dem jedesmaligen Versuche unterworfenen Pflanzen in zweckmässiger Weise durch Umhüllung vor Licht geschützt wurden.

Die Arbeit wurde im botanischen Institut der Universität Kiel auf Veranlassung des Herrn Professor Dr. Reinke ausgeführt. Es gereicht mir zur besonderen Freude, diesem, meinem hochverehrten Lehrer, an dieser Stelle für seine mir bei der Arbeit zu Teil gewordene wertvolle Anleitung, sowie für die Bereitwilligkeit, mit welcher mir alle zum Aufbau meiner Apparate und zur Fertigstellung der Arbeit notwendigen Utensilien zur Verfügung gestellt wurden, meinen innigsten Dank auszusprechen.

I. Qualitativer Teil.

Bevor ich an die nähere Ausführung meiner Untersuchungen herantrete, möge eine kurze Beschreibung des Apparates stattfinden, dessen ich mich bei meinen Arbeiten bediente, und den ich mir daher zu diesem Zwecke vorher construiert hatte.

Wie aus der Abbildung (siehe anhängende Tafel Fig. 1) ersichtlich, sind die als Aspirator dienenden, unter sich durch Kautschukrohr *a* verbundenen Flaschen *A* und A^1 in passender Weise durch den Kautschukschlauch *b* mit einer als Vorlage zur Aufnahme des Barytwassers dienenden Flasche *B* verbunden. Letztere steht durch Glasrohr und Gummiverbindung mit Gefäss *C* in Verbindung, das für die Aufnahme der zu untersuchenden Pflanzen bestimmt ist und andererseits durch das Glasrohr *d* und passenden Gummiverschluss mit einer völlig klares Barytwasser enthaltenden Flasche *D* in Verbindung steht. An diese schliesst sich endlich der mit concentrierter Kalilauge angefüllte Liebig'sche Kaliapparat *E*.

Vermöge des Aspirators strömt die atmosphärische Luft bei *e* in den Apparat, passiert zunächst die in *E* enthaltene concentrierte Kalilauge, gelangt von dort, der Kohlensäure beraubt, in die Barytwasser enthaltende Controlflache *D*, die eben anzeigen soll, dass wirklich alle in der unreinen atmosphärischen Luft enthalten gewesene Kohlensäure im Kaliapparat zurückgeblieben ist und daher absolut klar bleiben muss. Von *D* gelangt die kohlensäurefreie Luft sodann in das zur Aufnahme des Versuchsmaterials dienende Gefäss *C* und von dort nach Vorlage *B*, die mit Barytwasser beschickt wird, um die etwa in *C* gebildete Kohlensäure nachzuweisen.

Es muss gleich hier erwähnt werden, dass, wenn nach einer grösseren Reihe von Versuchen das Barytwasser in *D* anfing, eine geringe Trübung zu erleiden, indem dann die Kalilauge durch gebildetes kohlensaures Kalium schon zu sehr an Ätzkali eingebüsst hatte, dieses wie auch die Kalilauge durch neue ersetzt wurden.

Nachdem ich mich vorher überzeugt hatte, dass der Apparat in allen seinen Teilen, namentlich an den Gummi- und Korkverschlüssen, gut schloss, wurde folgender, für nachstehende Versuche durchaus notwendiger Controlversuch angestellt. Zunächst wurde zur Entfernung der im Apparat vorhandenen unreinen Luft längere Zeit (15 Min.) Luft durch den Apparat gesaugt,[1]) bis in *B* vorgelegtes, völlig klares Barytwasser auch nach längerem Durchsaugen (20 Min.) von Luft absolut nicht getrübt wurde, mithin kohlensäurefreie Luft im Apparat vorhanden sein musste. Sodann wurde das

[1]) Die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus dem Aspirator und demnach auch der Luftstrom im Apparate wurden durch eine an dem die beiden Flaschen des Aspirators verbindenden Kautschukrohr angebrachte Klemmschraube reguliert.

Gefäss *C* mittelst Gummirohr und Quetschhahn bei *g* und *h* abgesperrt und der Apparat in dieser Weise vierundzwanzig Stunden hindurch ruhig stehen gelassen, um eben zu sehen, ob nicht doch während dieser Zeit durch die Gummiverschlüsse von aussen her atmosphärische Luft in den Apparat hineindiffundiren möchte. Daher wurde nach dieser Zeit wieder einige Zeit (30 Min.) Luft durchgesaugt und nun genau auf das in *B* vorgelegte Barytwasser geachtet. Dasselbe blieb jedoch völlig unverändert, mithin war diese Sorge unbegründet. Dieser Controlversuch wurde des öfteren wiederholt, ergab jedoch stets durchaus befriedigende Resultate.

Die zu diesen qualitativen Versuchen dienende Barytlösung war eine klar filtrierte Lösung von reinem krystallisirtem Baryumhydroxyd in destillirtem Wasser, im Verhältnis von 20 : 1000. Der Zweckmässigkeit halber stellte ich mir gleich eine grössere Menge davon dar und bewahrte dieselbe in einer geeigneten Flasche mit besonderem Verschluss auf, aus der sie leicht, ohne Trübung durch die unreine atmosphärische Luft zu erleiden, mit Hilfe eines als Heber dienenden Glasrohres ausgefüllt werden konnte, während nur reine, vorher durch Kalilauge geleitete Luft Zutritt zu dem Inhalt der Flasche hatte.

Die zum Füllen des Liebig'schen Kaliapparates verwendete Kalilauge war eine koncentrierte wässrige Lösung von reinem Kaliumhydroxyd, im Verhältnis von 1 + 1,5 aq. — Sodann sei noch erwähnt, dass stets die Vorsicht beobachtet wurde, die Vorlage *B* vor jedem neuen Versuch mit reiner, kohlensäurefreier Luft anzufüllen, um in den Fällen, wo nur ganz geringe Mengen von Kohlensäure auftraten, auch diese mit Sicherheit nachweisen zu können.

Ferner möge diejenige Menge von Kohlensäure, die zum Teil schon vor dem Ansetzen eines neuen Versuches, aus der unreinen atmosphärischen Luft stammend, in dem Apparat vorhanden war, zum Teil aber auch sowohl der Oberfläche der zu untersuchenden Pflanzen adhärieren, als auch möglicherweise noch im Zellsaft und Protoplasma gelöst sein mochte, sowie noch in den bei Landpflanzen vorhandenen Intercellularräumen vorhanden sein konnte, als »schädliche Kohlensäure« bezeichnet werden. Diese, wenn auch nur sehr geringe, immerhin aber als Fehlerquelle dienende Menge musste natürlich vorher völlig entfernt werden, was jedoch in allen Fällen durch ein 10—15 Minuten langes Durchsaugen von reiner Luft durch den Apparat, nach vorheriger Anfüllung des Recipienten *C* mit dem Versuchsobjekte, zu erreichen war und daran erkannt

wurde, dass bei weiterem fünf Minuten langem Durchsaugen von Luft in *B* vorgelegtes Barytwasser völlig klar und unverändert blieb. Das zur Aufnahme des Versuchsobjektes dienende Gefäss *C* hatte einen Rauminhalt von 500 Cubikcentimeter, die Vorlage *B* einen solchen von 60 Cc., und wurde letztere zu jedem Versuche mit 30 Cc. der obigen Barytlösung angefüllt.

Die als Aspirator dienenden Flaschen *A* und A^1 hatten jede einen Rauminhalt von 6200 Cc.

In der beim jedesmaligen Absaugen der im Recipienten *C* neugebildeten Kohlensäure im Barytwasser der Vorlage durch Bildung von kohlensaurem Baryum entstehenden Trübung liessen sich je nach der Menge der vorhanden gewesenen Kohlensäure drei Stärkegrade von Trübungen unterscheiden, nämlich:

1. Starke Trübung, sofortige milchigweisse Beschaffenheit der Flüssigkeit, die nach ganz kurzer Zeit (1 Min.) des Beiseitestellens starken Niederschlag bildet.

2. Deutliche Trübung, ebenfalls noch starke Trübung, aber nicht ganz so starker Niederschlag.

3. Geringe Trübung, zwar auch noch unverkennbar, aber doch wesentlich weniger als bei 1 und 2 und erst nach einiger Zeit (5 Min.) deutlichen Bodensatz bildend.

Als Mittel, die Pflanzen zu töten, wendete ich »kochendheisse Wasserdämpfe« beziehungsweise »kochendes Wasser« sowie »gesättigte Ätheratmosphäre« an. Die dafür eingeschlagenen Methoden werden bei den einzelnen Versuchen kurz erwähnt werden.

Versuche mit Pflanzen, die verschiedene Zeitdauer hindurch kochendheissen Wasserdämpfen ausgesetzt gewesen sind.

Hierzu diente ein mit Deckel versehener, gut schliessbarer Kessel von ca. 500 Cc. Inhalt, der bis zu einem Drittel seines Volumens mit Wasser angefüllt wurde und in seiner Mitte einen siebartig durchlöcherten Boden hatte, auf den das Objekt gebracht wurde, um bei diesen Wasserdampfversuchen eine direkte Berührung der Pflanzen mit dem kochenden Wasser zu vermeiden. Beim Gebrauch wurde das im Kessel befindliche Wasser zunächst in lebhaftes Sieden gebracht, sodann das Versuchsobjekt schnell auf den Siebboden gelegt, das Gefäss mit dem Deckel sogleich wieder geschlossen und die Pflanze so eine bestimmte Zeit über unter fortwährendem Kochen des Wassers den im Innern des Kessels befind-

lichen siedendheissen Wasserdämpfen ausgesetzt. Alsdann wurde nach Einwirkung des Dampfes das Versuchsmaterial sofort in den Recipienten *C* gebracht, letzterer durch Umhüllung mit einem Tuche verdunkelt, in zweckmässiger Weise durch Kautschukrohrstücke mit den übrigen Teilen des Apparates verbunden und nun zur Entfernung der schädlichen Kohlensäure Luft durch den Apparat gesaugt. Die Beseitigung derselben gelang in allen Fällen nach zehn Minuten, sodass nach weiterem fünf Minuten langem Durchsaugen von Luft in *B* vorgelegtes, absolut klares Barytwasser nicht mehr verändert wurde. Darauf wurde Gefäss *C* bei *g* und *h* an den Gummiververbindungen durch Quetschhähne luftdicht abgeschlossen und eine bestimmte Zeit über stehen gelassen. Nach dieser Zeit wurde bei *g* und *h* wieder geöffnet, die Vorlage *B* mit völlig klarem Barytwasser angefüllt, in den Apparat eingeschaltet und der Aspirator in Tätigkeit gesetzt, sodass ein gleichmässiger Luftstrom durch den ganzen Apparat gesaugt wurde, um die etwa in *C* gebildete Kohlensäure abzusaugen, die dann unter Bildung von kohlensaurem Baryum vom Barytwasser der Vorlage gebunden ward und sich äusserlich durch eintretende Trübung zu erkennen gab.

Zum Absaugen dieser neugebildeten Kohlensäure genügte in allen Fällen eine Zeitdauer von zehn Minuten, sodass weiteres fünf Minuten langes Durchsaugen von Luft neuvorgelegtes Barytwasser unverändert liess.

Fucus serratus.

Dieses Material hatte ich durch die Güte des Herrn Professor Dr. Reinke aus Helgoland erhalten. In Gebrauch genommen wurden nur die äusseren Enden des blattartigen Thallus, die eine olivengrüne bis hellbraune Farbe hatten. Zu jedem Versuche dienten 20 Gramm = 19,6 Cc., die zuvor mit reinem Wasser abgewaschen und mit einem Tuche wieder etwas abgetrocknet waren.

Schon bei der geringsten Dampfeinwirkung (5 Sekunden) nahmen die aus braungrünen Phäoplasten bestehenden Chromatophoren eine dunkelgrüne Färbung an, während bei Einwirkung von sechs Minuten die ganzen Thallusstücke eine schleimige Beschaffenheit zeigten. Das Barytwasser wurde hier beim Absaugen der neugebildeten Kohlensäure in allen Fällen schon nach zwei Minuten getrübt.

In Dampf:

5 Sekunden; abgesp. v. 5 U. — M. NM. bis 9 U. 40 M. VM.[1]): starke Trübung.

[1]) VM. = Vormittag, NM. = Nachmittag.

10	Sekunden;	abgesp.	v.	5	U.	20	M.	NM.	bis	9	U.	30	M.	VM.:	starke	Trübung.
20	«	«	«	11	«	30	«	VM.	«	3	«	30	«	NM.:	«	«
30	«	«	«	11	«	50	«	«	«	11	«	30	«	VM.:	geringe	«
40	«	«	«	12	«	—	«	Mttg.	«	2	«	20	«	NM.:	«	«
50	«	«	«	12	«	—	«	«	«	2	«	—	«	«	«	«
vier	Minuten:	«	«	10	«	—	«	VM.	«	12	«	40	«	«	«	«
sechs	«	«	«	3	«	—	«	NM.	«	9	«	10	«	VM.:	deutliche	«
acht	«	«	«	10	«	30	«	VM.	«	2	«	—	«	NM.:	geringe	

Fusus vesiculosus.

Diese Alge hatte ich mir aus dem Kieler Hafen gesammelt. Zur Verwendung kamen nur die olivengrünen Enden des blattartigen Thallus und zwar zu jedem Versuch 20 Gramm = 19,6 Cc., die zuvor mit reinem Wasser abgewaschen und dann wieder etwas abgetrocknet waren.

Hier zeigten bei sehr kurzer Dampfeinwirkung (5 und 10 Sekunden) nur die Chromatophoren der äussersten Thallusspitzen eine lebhafte Grünfärbung, während bei einer Zeitdauer von 20 Sekunden bis 6 Minuten auch der übrige Teil solche Farbe annahm. Bei noch längerer Dampfeinwirkung (8—10 Min.) trat dann auffallender Weise wieder Braunfärbung der ganzen Thallusstücke ein. Nachher beim Absaugen der im Recipienten neugebildeten Kohlensäure trat auch hier nach zwei Minuten die gleich näher anzugebende Trübung des Barytwassers ein.

In Dampf:

5	Sekunden;	abgesp.	v.	11	U.	10	M.	VM.	bis	3	U.	10	M.	NM.:	starke	Trübung.
10	«	«	«	11	«	30	«	«	«	2	«	40	«	«	«	«
20	«	«	«	4	«	15	«	NM.	«	9	«	—	«	VM.:	«	«
30	«	«	«	4	«	30	«	«	«	8	«	50	«	«	«	«
40	«	«	«	11	«	30	«	VM.	«	3	«	—	«	NM.:	geringe	«
50	«	«	«	11	«	—	«	«	«	3	«	25	«	«	«	«
eine	Minute:	«	«	12	«	—	«	Mttg.	«	2	«	—	«	«	deutliche	«
zwei	«	«	«	11	«	45	«	VM.	«	2	«	30	«	«	«	«
vier	«	«	«	12	«	50	«	NM.	«	9	«	30	«	VM.:	geringe	«
sechs	«	«	«	10	«	40	«	VM.	«	9	«	50	«	«	deutliche	«
acht	«	«	«	1	«	—	«	NM.	«	9	«	—	«	«	geringe	«
zehn	«	«	«	11	«	—	«	VM.	«	9	«	30	«	NM.:	deutliche	«

Desmarestia aculeata.

Diese Alge entstammte gleichfalls Helgoland; von derselben wurden zu jedem Versuche 12 Gramm = 9,6 Cc. genommen, zuvor wiederum mit reinem Wasser abgewaschen und mit einem Tuche etwas abgetrocknet.

Nach der Behandlung mit Wasserdampf liess sich äusserlich keine Veränderung wahrnehmen.

In Dampf:

5 Sekunden;		abgesp.	v. 10 U.	— M.	VM.	bis	12 U.	— M.	Mttg.:	starke	Trübung.
10	«	«	« 12 «	45 «	NM.	«	3 «	— «	NM.:	geringe	«
20	«	«	» 11 «	— «	VM.	«	2 «	— «	«	«	«
30	«	«	« 10 «	30 «	«	«	2 «	— «	«	«	«
40	«	«	« 10 «	— «	«	«	2 «	15 «	«	«	«
50	«	«	« 10 «	30 «	«	«	2 «	10 «	«	«	«
eine Minute;		«	« 9 «	55 «	«	«	9 «	15 «	VM.:	deutliche	«
zwei	«	«	« 4 «	— «	NM.	«	9 «	30 «	«	geringe	«
vier	«	«	« 3 «	— «	«	«	8 «	45 «	«	«	«
sechs	«	«	« 4 «	30 «	«	«	9 «	40 «	«	«	«
acht	«	«	« 5 «	45 «	«	«	9 «	30 «	«	deutliche	«

Elodea canadensis.

Es wurden nur die obersten, in lebhaftem Wachstum begriffenen Teile dieser phanerogamen Wasserpflanze verwendet; zu jedem Versuche dienten 12 Gramm = 11,9 Cc.

Nach der Einwirkung des Wasserdampfes liess sich eine eingetretene Dunkelgrünfärbung an allen Teilen des Materials constatieren.

Die Trübung des Barytwassers trat hier beim Absaugen der gebildeten Kohlensäure sofort, d. h. innerhalb der ersten Minute, ein, während auch hier wiederum, wie bei allen übrigen Versuchen, die schädliche Kohlensäure vorher in der Weise entfernt war, dass nach zehn Minuten langem Durchsaugen von reiner Luft neu vorgelegtes Barytwasser nach weiteren fünf Minuten nicht mehr verändert wurde, mithin die spätere Trübung der Barytlösung in der Vorlage nur durch neugebildete Kohlensäure veranlasst sein konnte.

In Dampf:

5 Sekunden;		abgesp.	v. 4 U.	— M.	NM.	bis	8 U.	40 M.	VM.:	starke	Trübung.
10	«	«	« 3 «	40 «	«	«	8 «	50 «	«	«	«
20	«	«	« 10 «	— «	VM.	«	2 «	— «	NM.:	geringe	«
30	«	«	« 10 «	50 «	«	«	2 «	15 «	«	«	«
40	«	«	« 11 «	30 «	«	«	2 «	25 «	«	«	«
50	«	«	« 11 «	10 «	«	«	2 «	30 «	«	«	«
eine Minute;		«	« 11 «	50 «	«	«	11 «	15 «	VM.:	starke	«
zwei	«	«	« 12 «	10 «	NM.	«	11 «	20 «	«	deutliche	«
vier	«	«	« 11 «	50 «	VM.	«	11 «	10 «	«	«	«
sechs	«	«	« 11 «	40 «	«	«	11 «	30 «	«	geringe	«
acht	«	«	« 3 «	— «	NM.	«	9 «	— «	«	deutliche	«
zehn	«	«	« 3 «	15 «	«	«	9 «	10 «	«	«	«

Keimpflanzen von Weizen und Gerste.

Dieselben waren im Quarzsand bei Zimmertemperatur gewachsen und wurden vor dem Gebrauch durch Abwaschen mit Wasser sorgfältig von Sand und anderen Unreinigkeiten sowie den noch anhaftenden Frucht- und Samenresten befreit, darauf etwas wieder abgetrocknet und sodann der Einwirkung des siedendheissen Wasserdampfes ausgesetzt. Bei geringer Dampfeinwirkung zeigte die Wurzel keine Veränderung, während die Blätter eine lebhaftere Grünfärbung annahmen. Dagegen ging bei längerer Einwirkung des Dampfes (8 Min. und darüber) die grüne Farbe der Blätter verloren, und dieselben nahmen eine schmutzig gelbbraune Färbung an, während die Wurzel jetzt gelb tingiert war.

Beim Absaugen der neugebildeten Kohlensäure trat hier in allen Fällen schon in der ersten Minute Trübung des Barytwassers ein.

A. Gerstenkeimlinge.

Der oberirdische Teil hatte eine Länge von 10—11 cm. und war zehn Tage oberhalb der Erde. Zu jedem Versuche wurden 15 Gramm = 14,4 Cc. mit der Wurzel verwendet.

In Dampf:

5	Sekunden;	abgesp.	v.	10	U.	45	M.	VM.	bis	10	U.	30	M.	VM.:	starke Trübung.
10	«	«	«	11	«	50	«	«	«	9	«	—	«	«	«	«
20	«	«	«	12	«	25	«	NM.	«	9	«	10	«	«	«	«
30	«	«	«	10	«	50	«	VM.	«	2	«	20	«	NM.:	deutliche	«
40	«	«	«	11	«	10	«	«	«	2	«	—	«	«	«	«
50	«	«	«	11	«	15	«	«	«	2	«	10	«	«	geringe	«
eine	Minute;	«	»	12	«	—	«	Mttg.	«	2	«	20	«	«	«	«
zwei	«	«	«	10	«	40	«	VM.	«	10	«	—	«	VM.:	starke	«
vier	«	«	«	10	«	55	«	«	«	10	«	10	«	«	deutliche	«
acht	«	«	«	11	«	25	«	«	«	11	«	—	«	«	«	«

Von diesen mit Wasserdampf behandelten Keimlingen wurden nach beendetem Versuch 1 - 4 wieder in Sand gepflanzt, mit einer Glasglocke bedeckt und mehrere Tage beobachtet. Es zeigte sich, dass die fünf Sekunden in Dampf gewesenen Exemplare sich bis auf die abgestorbenen 3 cm. langen Spitzen völlig wieder erholten und weiterwuchsen, während von den zehn Sekunden mit Dampf behandelten Pflanzen sich nur sehr wenige (10 Stück) erholten. Die übrigen dagegen, zwanzig bis vierzig Sekunden im Dampf gewesenen, waren total abgestorben.

B. Weizenkeimlinge.

Der oberirdische Teil hatte eine Länge von 8—9 cm. und war acht Tage oberhalb der Erde; die Pflanzen wurden

mit der Wurzel und zwar für jeden Versuch 12 Gramm = 11,9 Cc. verwendet.

In Dampf:

5	Sekunden;	abgesp.	v.	11	U.	30	M.	VM.	bis	2	U.	40	M.	NM.:	starke	Trübung.
10	«	«	«	4	«	20	«	NM.	«	9	«	40	«	VM.:	«	«
20	«	«	«	12	«	—	«	Mttg.	«	3	«	—	«	NM.:	deutliche	«
30	«	«	«	12	«	10	«	NM.	«	3	«	10	«	«	geringe	«
40	«	«	«	3	«	40	«	«	«	9	«	30	«	VM.:	deutliche	«
50	«	«	«	12	«	20	«	«	«	9	«	40	«	«	«	«
eine	Minute;	«	«	12	«	35	«	«	«	9	«	45	«	«	starke	«
zwei	«	«	«	12	«	50	«	«	«	9	«	55	«	«	«	«
vier	«	«	«	10	«	30	«	VM.	«	9	«	20	«	«	«	«
sechs	«	«	«	10	«	45	«	«	«	9	«	25	«	«	«	«
acht	«	«	«	10	«	50	«	«	«	9	«	35	«	«	«	«
zehn	«	«	«	10	«	55	«	«	«	9	«	40	«	«	«	«

Die 5, 10, 20 und 30 Sekunden dem Wasserdampf exponiert gewesenen Pflanzen wurden unmittelbar nach beendetem Versuch ebenfalls wieder in Sand gepflanzt, mit einer Glasglocke bedeckt und nun beobachtet, ob dieselben noch etwa Wachstumserscheinungen zeigten, wobei sich herausstellte, dass von denjenigen Exemplaren, die nur fünf und zehn Sekunden dem Dampf exponiert gewesen waren, einige wenige Pflanzen bis auf die abgestorbenen 3,5 cm. langen Spitzen sich wieder erholten und weiter wuchsen. Alle übrigen dagegen, sowie die zwanzig und dreissig Sekunden mit Dampf behandelten Exemplare waren völlig getötet.

Versuche mit durch kochendes Wasser getöteten Keimpflanzen von Gerste und Weizen.

Diese Versuche wurden gemacht, um zu konstatieren, ob nicht etwa der diese eigentümliche postmortale stattfindende Kohlensäureentwicklung veranlassende Stoff durch direkte Behandlung der Pflanzen mit kochendem Wasser zu extrahieren sei. Jedoch auch hier zeigte sich, selbst nach längerer Einwirkung des kochenden Wassers, so dass an ein Leben der Pflanzen natürlich nicht mehr zu denken war, noch deutliche Kohlensäureentbindung.

Zu diesem Zwecke wurden die dem Versuche dienenden Pflanzen in einen kleinen Gazebeutel gebracht und in letzterem eine bestimmte Zeit über in lebhaft siedendes Wasser getaucht, hierauf etwas abtropfen lassen und alsdann sogleich in den Recipienten *C* gebracht. Nach Entfernung der schädlichen Kohlensäure, die auch hier wieder nach zehn Minuten langem Durchsaugen von reiner

Luft gelang, sodass nach weiteren fünf Minuten keine Veränderung des Barytwassers mehr eintrat, wurde das Gefäss *C* wiederum abgesperrt, die gebildete Kohlensäure nach einer bestimmten Zeit abgesaugt und in der mit Barytwasser gefüllten Vorlage aufgefangen.

Es muss noch bemerkt werden, dass weder die Gersten- noch die Weizenkeimlinge hier auffallenderweise, selbst nach längerer Einwirkung des kochenden Wassers, ihre ursprüngliche grüne Farbe der Blätter verloren, während doch bei der Behandlung mit Wasserdampf schon nach acht Minuten intensive Gelbbraunfärbung eintrat. Da zu diesen Versuchen reines Brunnenwasser genommen wurde, so wurde anfangs dem Salzgehalt des letzteren die Ursache für dieses Grünbleiben der Blätter zugeschrieben. Dann musste aber notwendigerweise in destillirtem Wasser Braunfärbung der grünen Blätter eintreten, was jedoch nicht der Fall war, indem auch hier die grüne Farbe blieb.

Die Trübung des vorgelegten Barytwassers trat hier beim jedesmaligen Absaugen, sowohl der Gersten- als Weizenkeimlinge, stets in der ersten Minute ein.

A. Gerstenkeimlinge.

Der oberirdische Teil war 8—9 cm. lang und acht Tage oberhalb der Erde; zu jedem Versuche wurden 12.5 Gramm = 12.1 Cc. (58 Stück) genommen.

In koch. Wasser:

zwei Minuten;	abgesp.	v.	10	U.	—	M.	VM.	bis	9	U.	—	M.	VM.:	starke Trübung.
sechs «	«	«	11	«	10	«	«	«	10	«	30	«	«	«
zehn «	«	«	2	«	—	«	NM.	«	9	«	—	«	«	deutliche «
fünfzehn «	«	«	3	«	20	«	«	«	10	«	—	«	«	geringe «

B. Weizenkeimlinge.

Der oberirdische Teil war 8—9 cm. lang und acht Tage oberhalb der Erde; zu jedem Versuche dienten 12.5 Gramm = 12,45 Cc. (70 Stück).

In koch. Wasser:

zwei Minuten;	abgesp.	v.	2	U.	10	M.	NM.	bis	11	U.	10	M.	VM.:	starke Trübung.
sechs «	«	«	10	«	—	«	VM.	«	8	«	30	«	«	«
zehn «	«	«	2	«	—	«	NM.	«	11	«	—	«	«	«
fünfzehn «	«	«	11	«	—	«	VM.	«	8	«	40	«	«	deutliche «

Um hier gleich einem etwaigen Einwande vorzubeugen, dass diese postmortale nachgewiesene Kohlensäureproduktion vielleicht schon, trotz der kurzen Zeit von oft nur wenigen Stunden, durch Bakterienbildung veranlasst sein könne, mag noch erwähnt sein, dass gleich nach Beendigung der einzelnen Versuche wiederholt

eine mikroskopische Untersuchung des benutzten Materials auf Bakterien stattfand. Jedoch liessen sich stets nur ganz vereinzelte, auch bei lebendem Material vorkommende Bakterien nachweisen, die unter keinen Umständen eine solche bedeutende Kohlensäureentwicklung veranlassen konnten, so dass diese nach dem Tode der Pflanzen noch auftretende Kohlensäure aus diesen selbst durch Neubildung entstanden sein muss.

Versuche mit Pflanzen, die sich fortwährend in gesättigter Ätheratmosphäre befanden. [1])

Hier wurde in der Weise verfahren, dass die betreffenden Pflanzen in das Aufnahmegefäss *C* gebracht wurden, in welchem ein offenes, mit Äther angefülltes Gläschen angebracht war, so dass sich die betreffenden Versuchsobjekte stets in koncentrierter Ätheratmosphäre befanden, ohne mit der Ätherflüssigkeit selbst in Berührung zu kommen.

Sodann wurde auch hier zunächst die schädliche Kohlensäure durch zehn Minuten langes Absaugen völlig entfernt, so dass weitere fünf Minuten des Absaugens keine Veränderung des neu vorgelegten, völlig klaren Barytwassers veranlassten. Darauf wurde das mit dem Versuchsmaterial angefüllte Gefäss *C*, wie bei den früheren Versuchen mit Wasserdampf und kochendem Wasser, luftdicht abgeschlossen und hernach beim Absaugen der etwa neugebildeten Kohlensäure genau darauf geachtet, dass alle jeweilig in *C* gebildete Kohlensäure völlig entfernt wurde, was in allen Fällen nach zehn Minuten gelang und daran erkannt wurde, dass beim Absaugen von weiteren fünf Minuten neu vorgelegtes Barytwasser, das absolut klar war, während

[1]) Wie Fr. Elfving (Separatabdruck aus Oversigt of Finska Vatensk — Soc. s. Förk Bd. XXVIII, Einwirkung von Äther und Chloroform auf Pflanzen) nachgewiesen hat, bewirken geringe Dosen von Äther bei Pflanzen, ähnlich der Wirkung bei Tieren, eine Steigerung der Atmungsintensität und der damit verbundenen Kohlensäureproduktion. Beispielsweise fand derselbe für Salixblätter, dass dieselben am meisten Kohlensäure zu producieren vermochten, wenn dieselben in eine 10procentige Ätheratmosphäre gebracht wurden. Eine ähnliche Steigerung konstatierte derselbe bei keimenden Samen von Pisum sativum, während er keinen solchen Einfluss auf keimende Samen von Cannabis indica wahrzunehmen vermochte und negative Resultate für das Gährungsvermögen von Sacharomyces cerevisiae, Zuckerlösung in Alkohol und Kohlensäure zu spalten, erhielt, indem hier schon äusserst geringe Mengen von Äther die Gährung und die damit verbundene Kohlensäureproduktion beeinträchtigten.

dieser Zeit durchaus unverändert blieb. Nun wurde Gefäss *C* wieder abgesperrt und nach einer bestimmten Zeit auf Kohlensäure geprüft. Alsdann trat in allen Fällen schon innerhalb der ersten zwei Minuten die unten näher angegebene Trübung des vorher völlig klaren Barytwassers ein, so dass dieselbe nur von mittlerweile neugebildeter Kohlensäure herrühren konnte, da jedes Mal doch die vorhanden gewesene Kohlensäure völlig entfernt wurde, indem weiteres fünf Minuten langes Absaugen das Barytwasser völlig klar und unverändert liess.

Dieses wiederholte Absperren des Gefässes *C* und Absaugen der darin gebildeten Kohlensäure wurde längere Zeit fortgesetzt und ergab stets, selbst nach mehreren Tagen, wo an ein Leben der Pflanzen in dieser gesättigten Ätheratmosphäre schon lange nicht mehr zu denken war, geringe aber unverkennbare Mengen von neugebildeter Kohlensäure.

Der auch hier wieder ausgeführte Kontrolversuch überzeugte mich zunächst davon, dass der Apparat in allen seinen Teilen luftdicht schloss und auch nach längerem Stehen von aussen keine unreine Luft in denselben hineindiffundieren, mithin hierdurch keine Fehlerquelle für meine Versuche auftauchen konnte. Die Versuche ergaben folgendes Resultat:

Fucus vesiculosus.

Es wurden 20 Gramm = 19,2 Cc. der braungrüngefärbten, unter normalen Verhältnissen starke Kohlensäureentwicklung liefernden Teile des Thallus verwendet.

In gesättigter Ätheratmosphäre:

Abgesperrt v.	3	U.	10	M.	NM.	bis	4	U.	50	M.	NM.:	deutliche Trübung.
»	» 5	»	5	»	»	»	9	»	—	»	VM.:	» »
»	» 9	»	15	»	VM.	»	2	»	35	»	NM.:	geringe »
»	» 2	»	50	»	NM.	»	9	»	30	»	VM.:	» »
»	» 9	»	45	»	VM.	»	2	»	15	»	NM.:	» »
»	» 2	»	30	»	NM.	»	9	»	55	»	VM.:	» »
»	»10	»	20	»	VM.	»	10	»	10	»	»	» »
»	»10	»	35	»	»	»	11	»	20	»	»	» »
»	»11	»	35	»	»	»	11	»	30	»	»	» »

Hierauf wurde der Versuch unterbrochen. Die Chromatophoren der Thallusstücke zeigten nach den ersten 24 Stunden der Äthereinwirkung lebhafte Grünfärbung, welche Farbe alsdann allmählich in gelbbraun überging.

Elodea canadensis.

Zur Verwendung kamen nur die oberen, grünen und lebhaftes Wachstum zeigenden Teile dieser Pflanze und zwar auch hier 20 Gramm = 19,8 Cc.

In gesättigter Ätheratmosphäre:

Abgesperrt v. 2 U. 10 M. NM. bis 3 U. 40 M. NM.: deutliche Trübung.
» » 3 » 55 » » » 11 » — » VM.: » »
» » 11 » 15 » VM. » 9 » 45 » » geringe »
» » 10 » — » » » 9 » — » » » »
» » 9 » 15 » » » 9 » 10 » » » »
» » 9 » 25 » » » 8 » 30 » » » »

Der Versuch wurde jetzt unterbrochen. Die Pflanzen zeigten hier nach den ersten 24 Stunden keine Farbenveränderung durch den Äther; dagegen nahmen dieselben nach weiteren 24 Stunden eine schmutzig braungrüne Farbe an, die zuletzt in gelblichweiss überging.

Keimpflanzen von Gerste und Weizen.

Dieselben wurden samt Wurzel dem Versuch unterworfen, zuvor jedoch wiederum sorgfältig von anhaftendem Sand und Unreinigkeiten sowie den noch anhaftenden Frucht- und Samenresten befreit.

A. Gerstenkeimlinge.

Der oberirdische Teil war 10—11 cm lang und zehn Tage über der Erde; es wurden 20 Gramm = 19,5 Cc (81 St.) dem Versuche unterworfen.

In gesättigter Ätheratmosphäre:

Abgesperrt v. 11 U. 30 M. VM. bis 2 U. 55 M. NM.: starke Trübung.
» » 3 » 10 » NM. » 9 » 35 » VM.: geringe »
» » 9 » 50 » VM. » 2 » 10 » NM.: » »
» » 2 » 25 » NM. » 10 » 15 » VM.: » »
» » 10 » 30 » VM. » 9 » 5 » » » »
» » 9 » 20 » » » 2 » — » NM.: » »
» » 2 » 15 » NM. » 10 » 10 » VM.: » »
» » 10 » 25 » VM. » 9 » 50 » » » »
» » 10 » 5 » » » 9 » 35 » » » »

Alsdann wurde auch dieser Versuch unterbrochen. Nach den ersten 24 Stunden war an den Blättern nur eine dunklere Grünfärbung zu konstatieren, die nach dieser Zeit aber in eine schmutzig braungrüne Farbe überging, während an der Wurzel nach 48 Stunden eine intensive Gelbfärbung zu bemerken war.

B. Weizenkeimlinge.

Der oberirdische Teil hatte eine Länge von 9—10 cm und war acht Tage oberhalb der Erde; es wurden wiederum 20 Gramm = 19,4 Cc (100 St.) für den Versuch verwendet.

In gesättigter Ätheratmosphäre:

Abgesperrt v.	2 U.	20 M.	NM.	bis	3 U.	30 M.	NM.:	starke	Trübung.
»	»	3 »	45 »	»	»	9 »	15 »	VM.:	deutliche	»
»	»	9 »	30 »	VM.	»	2 »	25 »	NM.:	geringe	»
»	»	2 »	40 »	NM.	»	10 »	30 »	VM.:	»	»
»	»	10 »	50 »	VM.	»	9 »	25 »		»	»
»	»	9 »	40 »	»	»	2 »	25 »	NM.:	»	»
»	»	2 »	40 »	NM.	»	10 »	30 »	VM.:	»	»
»	»	10 »	45 »	VM.	»	10 »	— »			
»	»	10 »	15 »	»	»	9 »	50 »	»	»	»

Der Versuch wurde jetzt unterbrochen und die Pflanzen aus der Ätheratmosphäre herausgenommen. Die Blätter hatten nach 24 Stunden eine dunkelgrüne Farbe angenommen, die bei weiterer Einwirkung des Äthers in eine schmutzig braungrüne überging, während die Wurzel sich auch hier nach 48 Stunden intensiv gelb gefärbt hatte.

Obwohl nun in solch' koncentrierter Ätheratmosphäre eine Bildung von Bakterien in solcher Menge, dass dadurch nachweisbare Kohlensäurebildung auftreten könnte, als ausgeschlossen gelten dürfte, so wurde doch auch hierauf Rücksicht genommen und die Pflanzen nach beendetem Versuche jedes Mal sorgfältig mikroskopisch darauf geprüft, was jedoch in allen Fällen ein durchaus negatives Resultat zur Folge hatte.

II. Quantitativer Teil.

Zum Aufsaugen der Kohlensäure bediente ich mich auch hier im wesentlichen desselben Apparates, wie bei den qualitativen Versuchen, den ich dort bereits näher beschrieben habe.

Auch wurde als Absorptionsflüssigkeit wiederum eine wässrige Lösung von Baryumhydroxyd verwendet, im Verhältnis von 20:1000. Nur diente zur völligen Absorption der im Recipienten *C* gebildeten Kohlensäure eine Pettenkofersche[1]) Röhre (Tafel, Fig. 2), wie

[1]) Abhandlung d. Bayr. Akademie d. Wissenschaft. 1862, Bd. IX, Abth. 2, p. 231.

solche bereits u. a. von Rischavi[1]) zur Bestimmung der von Pflanzen exhalierten Kohlensäure benutzt wurde. Derselben war durch eine zweckmässige Unterlage die nötige Schrägstellung gegeben, damit das Gas in Form kleiner Bläschen in das in der Röhre befindliche Barytwasser einzuströmen vermochte, um eine völlige Absorption zu erzielen. Zur grösseren Sicherheit schaltete ich noch zwischen Absorptionsrohr und Aspirator eine ebenfalls klares Barytwasser enthaltende Waschflasche ein, um mich durch Klarbleiben dieser Lösung zu überzeugen, dass auch wirklich alle Kohlensäure vom Barytwasser der Röhre gebunden ward. Die Bestimmung der Kohlensäure geschah auf maassanalytischem Wege mittels Zehntel-Normalsalzsäure, welch' letztere ich mir in bekannter Weise mit Zehntel-Normalnatronlauge bez. Zehntel-Normaloxalsäure darstellte und wiederholt auf ihren richtigen Titer prüfte.

Als Indikator diente eine Phenolphtaleïnlösung in verdünntem Weingeist im Verhältnis von 1 : 100.

Die Baryumhydroxydlösung wurde wiederum in ähnlicher Flasche aufbewahrt, wie solche im qualitativen Teil näher beschrieben ist. Nur stand mit dem als Heber wirkenden Glasrohr *a* (Tafel. Fig. 3) eine zur Abmessung der Barytlösung dienende, in Zehntel-Kubikcentimeter geteilte Bürette in Verbindung, die an ihrem unteren Ende in geeigneter Weise durch Gummirohr und Quetschhahn abgesperrt war, während der oberen Öffnung ein mit Natronkalk angefülltes Glasrohr *c* aufgepasst war, um die unreine atmosphärische Luft abzuhalten. Beim jedesmaligen Gebrauch wurde durch Öffnen eines bei *d* angebrachten Quetschhahnverschlusses die Bürette mit der Barytlösung gefüllt, letztere bis zu einer Marke genau eingestellt und dann eine bestimmte Menge unten abgelassen.

Durch diese Vorsichtsmaassregel hinsichtlich der Aufbewahrung der Barytlösung wurde eine Präcipitation von Baryumcarbonat durch die atmosphärische Kohlensäure und damit eine Veränderung des Titers möglichst vermieden. Jedoch musste täglich bei jedem neuen Versuch die Bestimmung des Titers erneuert werden, weil trotzdem während der Aufbewahrung eine minimale Veränderung der Barytlösung eintrat.

Zur Feststellung des Gehaltes der Lösung an Baryumhydroxyd mittels der Zehntel-Normalsalzsäure wurden genau 20 Cc. der Barytlösung in ein enghalsiges Glaskölbchen gebracht, mit zwei Tropfen

[1]) Landwirtschaftliche Versuchsstationen 1876, Bd. XVI, p. 321.

der obigen Phenolphtaleïnlösung versetzt und nun schnell aus einer genau calibrierten, in Zehntel-Kubikcentimeter eingeteilten Bürette von der Zehntel-Normalsalzsäure bis zur Neutralisation zugesetzt, kenntlich an der eben eintretenden Farblosigkeit der durch Phenolpthaleïn rot gefärbten Barytlösung. Und zwar geschah die Ermittelung der zur Neutralisation nötigen Salzsäure in zwei Parallelversuchen. In dem ersteren wurde durch schnelles Hinzufügen der Säure bis zur Farblosigkeit der Barytlösung annähernd die zur Neutralisation nötige Menge von Salzsäure, in dem zweiten Versuche dagegen, wenn fast Farblosigkeit eingetreten war, die Säure nur noch tropfenweise zugesetzt, wodurch die Bestimmung sehr genau und in kürzester Zeit erreicht und so die schädlich wirkende Kohlensäure der Luft auf ein Minimum reduciert wurde.

Ein Kubikcentimeter Zehntel-Normalsalzsäure entspricht nun einem Zehntel Äquivalentgewicht des Baryumhydroxydes in Milligrammen. Man hat daher nur nötig, mit letzteren die Anzahl der verbrauchten Cc. Zehntel-Normalsalzsäure zu multiplicieren, um das Gewicht des in 20 Cc. der Barytlösung vorhandenen Baryumhydroxydes in Milligrammen zu erhalten.

Angenommen, zur Neutralisation von 20 Cc. der Barytlösung seien 30,9 Cc. der Zehntel-Normalsalzsäure ($^1/_{10}$ NHCl.) verbraucht: das Äquivalentgewicht von Baryumhydroxyd [$Ba(OH)_2$] ist gleich 85,5; also 1 Cc. $^1/_{10}$ Normal-HCl. = 8,55 mgr. $Ba(OH)_2$,

30,9 Cc. „ $= 8{,}55 \times 30{,}9 = 264{,}195$ mgr. $Ba(OH)_2$,

welche Gewichtsmenge somit in 20 Cc. der Barytlösung enthalten sein würde.

Die Pettenkofersche Röhre wurde zu jedem Versuche mit 50 Cc. der Barytlösung angefüllt. Beim Absaugen der Kohlensäure wird nun vom Baryumhydroxyd ein gewisser Teil neutralisiert und als kohlensaures Baryum niedergeschlagen, wodurch natürlich der Titer der Lösung erniedrigt wird. Es ist dann nur erforderlich, dafür zu sorgen, dass das Volumen des der Kohlensäure dargebotenen Barytwassers während des Absaugens nicht verändert wird, und eine vollständige Absorption der Kohlensäure stattfindet, um aus der Erniedrigung des Titers die Gewichtsmenge des von der Kohlensäre zurückgehaltenen Barymhydroxydes und somit auch die erhaltene Menge Kohlensäure bestimmen zu können.

Hätte man z. B. 50 = 20 × 2,5 Cc. Baryumhydroxydlösung, von der 20 Cc. = 30,9 Cc. $^1/_{10}$ Normal HCl. sind, zur Absorption der Kohlensäure verwendet und nach Beendigung des Versuchs den

Titer gleich 22 Cc. $^1/_{10}$ Normal HCl., d. h. in 20 Cc. der Barytlösung nur noch Baryumhydroxyd für 22 Cc. der $^1/_{10}$ Normal HCl. gefunden, so würde die durch die absorbierte und mithin vorhanden gewesene Kohlensäure als kohlensaures Baryum ausgefällte Menge von Baryumhydroxyd 22,25 Cc. $^1/_{10}$ Normal HCl. entsprechen.

Denn: $(2{,}5 \times 30{,}9) - (2{,}5 \times 22) = 2{,}5\ (30{,}9 - 22)$
$= 2{,}5 \times 8{,}9 = 22{,}25$ Cc. $^1/_{10}$ Normal HCl.

Die durch Kohlensäure verbrauchte Menge von Baryumhydroxyd entspricht daher einer solchen Anzahl Cc. $^1/_{10}$ Normal HCl, die gleich ist dem Produkt aus der Titerdifferenz des Barytwassers vor und nach dem Versuch und dem Volum-Coefficienten, unter letzterem diejenige Zahl verstanden, mit welcher man das Volum des für die Titrierung benutzten Barytwassers zu multiplicieren hat, um auf das des Barytwassers im Ganzen zu kommen; im vorliegenden Falle also die Zahl 2,5.

Nun ist 1 Cc. $^1/_{10}$ Normal HCl $= 8{,}55$ mgr. $Ba(OH)_2$,
also 22,25 » » » $= 22{,}25 \times 8{,}55 = 190{,}2375$ mgr. $Ba(OH)_2$.

Zur Berechnung auf die gesuchte und wirklich vorhanden gewesene Menge von Kohlensäure sind diese verbrauchten Milligramm Baryumhydroxyd alsdann zu multiplicieren mit dem Quotienten aus dem Molekulargewicht der Kohlensäure (CO_2), dividiert durch das Molekulargewicht des Baryumhydroxydes nach der Gleichung:

$$\underbrace{Ba(OH)_2}_{171} + \underbrace{CO_2}_{44} = BaCO_3 + H_2O.$$

Molekulargewicht

also: $171 : 190{,}2375 = 44 : x$; $x = 48{,}95$ mgr. CO_2.

Die einzelnen Versuche wurden nun, wie folgt, ausgeführt. Nach Anfüllung des Recipienten *C* mit dem Versuchsmaterial wurde auch hier zunächst die schädliche Kohlensäure vollständig entfernt, sodann das Gefäss *C* an den Kautschukverbindungen bei *g* und *h* durch Quetschhähne luftdicht abgesperrt und in solcher Weise 24 Stunden stehen gelassen. Zur Bestimmung der während dieser Zeit gebildeten Kohlensäure wurde alsdann eine mit 50 Cc. der Barytlösung von genau bekannter Stärke angefüllte, nach Pettenkofer konstruierte Röhre von entsprechender Grösse in den Apparat eingeschaltet, die Kontrolflasche zwischen Röhre und Aspirator angebracht, die das Gefäss *C* absperrenden Quetschhähne geöffnet und nun mit Hilfe des Aspirators ein langsamer und gleichmässiger Luftstrom durch den Apparat gesaugt, sodass die in *C* befindliche Kohlensäure in Form kleiner Bläschen vom Barytwasser der vorgelegten

Röhre aufgenommen wurde. Hierzu wurde in allen Fällen eine Zeitdauer von 30 Minuten verwendet, nach welcher Zeit keine Kohlensäure mehr im Recipienten vorhanden war. Hierauf wurde die durch ausgeschiedenes Baryumcarbonat getrübte Flüssigkeit der Vorlage schnell durch ein kleines Faltenfilterchen in ein bereitstehendes und völlig trocknes Gläschen filtriert, dieses einstweilen luftdicht verschlossen und hernach zum Titrieren derselben geschritten. Letzteres geschah stets in der Weise, dass zu jeder Titration mit Hilfe einer Saugpipette 20 Cc. der Barytlösung in ein reines Glaskölbchen gebracht, mit zwei Tropfen Phenolphtaleïnlösung versetzt und dann sofort in obenerwähnter Weise titriert wurden, indem stets zwei Titrationen mit dem zu einem und demselben Versuch verwendeten Barytwasser gemacht wurden, um möglichst genaue Resultate zu erzielen. Auch wurde nicht versäumt, zu wiederholten Malen sogen. »blinde Analysen« auszuführen. Bei diesen wurde ganz in derselben Weise eine Pettenkofersche Röhre mit 50 Cc. der Barytlösung angefüllt, letztere dann gleichfalls durch ein Filterchen gegossen und darauf titriert, um auch diejenige Menge von Kohlensäure zu ermitteln, welche während der Operation des Filtrierens aus der unreinen Atmosphäre von der Baryumhydroxydlösung angezogen wurde. Diese Bestimmung wurde wiederholt und zu verschiedenen Zeiten ausgeführt und ergab konstant die nicht ganz unwesentliche Menge von 2,2 mgr. Kohlensäure, zugleich ein Beweis, dass die Zimmerluft, in der die Arbeiten ausgeführt wurden, stets annähernd denselben Prozentgehalt an Kohlensäure besitzen musste. Natürlich wurde diese von der bei den einzelnen Versuchen gefundenen Menge abgezogen, sodass die unten näher angeführten Zahlen sich nur auf die wirklich im Recipienten neugebildete Kohlensäure beziehen.

Auch wurde versucht, die noch etwa im Versuchsmaterial vorhandene Kohlensäure, die wir bereits im qualitativen Teil (Seite 9) näher kennen gelernt und schädliche Kohlensäure genannt haben, quantitativ zu bestimmen. Es wurde zu diesem Zweck bei jedem einzelnen Versuche die schädliche Kohlensäure durch dreissig Minuten langes Durchsaugen von reiner Luft entfernt und ebenfalls in einer vorgelegten, 50 Cc. der Barytlösung enthaltenden Pettenkofer'schen Röhre aufgefangen und dann die Kohlensäure darin durch Titration bestimmt. Zugleich wurde dieser Versuch ausgeführt, ohne Pflanzen in den Recipienten gebracht zu haben, wo derselbe also nur mit unreiner atmosphärischer Luft angefüllt war.

Die Differenz der bei beiden Versuchen gefundenen Menge von Kohlensäure war dann offenbar gleich derjenigen, die noch beim Einbringen der Pflanzen in den Recipienten in ersteren enthalten war. Doch war diese in den meisten Fällen gleich Null und nur wenige Male betrug sie Bruchteile eines Milligramms, wodurch zugleich bewiesen wird, dass die dann später beim Absaugen erhaltene, oft bedeutende Menge von Kohlensäure nur durch Neubildung entstanden sein konnte, und deshalb schon ein etwaiger Einwand, dieselbe könne vielleicht während des Abgesperrtseins aus den Pflanzen in den kohlensäurefreien Raum des Recipienten hineindiffundiert sein, brauche daher nicht notwendig neugebildet zu sein, hinfällig wird.

Bestimmung der Kohlensäure von mit Ätherdampf behandelten Pflanzen.

Die Ausführung geschah in der Weise, dass die lebenden Pflanzen in den Recipienten gebracht wurden, in welchem sich ein offenes Gefäss mit Äther befand, sodass das Versuchsobjekt nicht direct mit dem flüssigen Äther in Berührung kam und nur durch die Dämpfe getötet wurde. Die hier nach den ersten vierundzwanzig Stunden erhaltene Kohlensäure dürfte jedoch zum Teil noch von der lebenden Pflanze gebildet sein. Denn es wurde zwar nach Einfüllung des Versuchsmaterials in den mit Äther beschickten Recipienten zuerst zur Entfernung der schädlichen Kohlensäure dreissig Minuten lang reine Luft durch den Apparat gesaugt, jedoch ist anzunehmen, dass während dieser Zeit des Durchsaugens der Raum im Recipienten nicht mit Äther gesättigt war, sondern nur einen hohen Prozentgehalt an letzterem enthielt, und dass die Pflanzen daher während dieser Zeit noch nicht völlig getötet wurden.

Nach dieser Zeit des Durchsaugens von Luft zur Entfernung der schädlichen Kohlensäure wurde der Recipient luftdicht verschlossen, vierundzwanzig Stunden sich selbst überlassen, darauf die gebildete Kohlensäure in einer vorgelegten, mit Barytwasser angefüllten Röhre aufgefangen und dieses Absperren und Absaugen nach jedes Mal vierundzwanzig Stunden längere Zeit fortgesetzt.

Die Resultate waren folgende:

Fucus vesiculosus.

Es wurden 25 Gramm = 24 Cc. dem Versuche unterworfen.

Nach den ersten 24 Stunden: 10,23 mgr. CO_2.

» weiteren » 6,83 » »

nach weiteren 24 Stunden: 4,51 mgr. CO_2.
» » » 4,18 » »

Gesamtmenge nach 4 Tagen: 25,75 mgr. CO_2.

Der Versuch wurde in derselben Weise wiederholt:

nach den ersten 24 Stunden: 9,13 mgr. CO_2.
» weiteren » 5,22 » »
» » » 4,51 » »
» » » 4,51 » »

Gesamtmenge nach vier Tagen: 23,37 mgr. CO_2.

Elodea canadensis.

Es wurden 25 Gramm = 24,7 Cc. dem Versuche unterworfen.

Nach den ersten 24 Stunden: 13,88 mgr. CO_2.
» weiteren » 5,28 » »
» » » 4,73 » »
» » » 4,73 » »

Gesamtmenge nach vier Tagen: 28,62 mgr. CO_2.

Der Versuch wurde in gleicher Weise wiederholt:

Nach den ersten 24 Stunden; 15,73 mgr. CO_2.
» weiteren » 4,84 » »
» » » 5,83 » »
» » » 6,06 » »

Gesamtmenge nach vier Tagen: 32,46 mgr. CO_2.

Gerstenkeimlinge.

Zu jedem Versuche dienten wiederum 25 Gramm = 24,2 Cc.

a) Solche, deren oberirdischer Teil 7—8 cm. lang und sechs Tage über der Erde war.

Nach den ersten 24 Stunden: 22,8 mgr. CO_2.
» weiteren » 6,93 » »
» » » 5,28 » »
» » » 5,28 » »

Gesamtmenge nach vier Tagen: 40,29 mgr. CO_2.

b) Solche, deren oberirdischer Teil 9—10 cm. lang und zehn Tage über der Erde war.

Nach den ersten 24 Stunden: 24,2 mgr. CO_2.
» weiteren » 5,61 » »
» « » 4,51 » »
» » » 4,55 « »

Gesamtmenge nach vier Tagen: 38,87 mgr. CO_2.

Weizenkeimlinge.

Dem Versuche wurden 25 Gramm = 24,9 Cc. unterworfen.

a) Solche, deren oberirdischer Teil 7—8 cm. lang und sechs Tage über der Erde war.

Nach den ersten 24 Stunden:	16,28	mgr.	CO_2,	
» weiteren »	5,28	»	»	
» » »	4,18	»	»	
» » »	4,38	»	»	

Gesamtmenge nach vier Tagen: 30,12 mgr. CO_2.

b) Solche, deren oberirdischer Teil 9—10 cm. lang und zehn Tage über der Erde war.

Nach den ersten 24 Stunden:	16,22	mgr.	CO_2.
» weiteren »	5,06	»	»
» » »	5,06	»	»
» » »	4,51	»	»

Gesamtmenge nach vier Tagen: 30,85 mgr. CO_2.

Wie diese Versuche in koncentrierter Ätheratmosphäre lehren, ist die in vier Tagen erzeugte Gesamtmenge von Kohlensäure durch die mit Ätherdampf getöteten Pflanzen eine nicht unwesentliche. Auch bleibt hier die Menge der jedes Mal in vierundzwanzig Stunden neugebildeten Kohlensäure annähernd dieselbe, mit Ausnahme der in den ersten 24 Stunden erzeugten, wo eine grössere Menge von diesem Gase produciert wird, welches Plus jedoch zum Teil daher rühren wird, dass, wie bereits zu Anfang dieser Versuche erwähnt ist, das Versuchsobjekt beim Absperren des Recipienten noch nicht völlig getötet war und daher noch entsprechend mehr Kohlensäure zu bilden vermochte, als nachher im völlig getöteten Zustande. Es wurden diese Kohlensäurebestimmungen hier nicht länger als vier Tage fortgesetzt, weil bereits durch die analogen Ätherversuche im qualitativen Teil zur Genüge nachgewiesen ist, dass auch noch nach längerer Zeit geringe aber unverkennbare Quantitäten von Kohlensäure auftreten.

Bestimmung der Kohlensäure von mit siedendheissen Wasserdämpfen getöteten Pflanzen.

Die Behandlung der Pflanzen mit Wasserdampf geschah hier in gleicher Weise, wie bei den oben erwähnten qualitativen Versuchen. Die Zeitdauer der Einwirkung des Dampfes betrug 2, 6, 10, 15, 20 und 30 Minuten. Nach Einfüllung in den Recipienten

wurde auch hier durch dreissig Minuten langes Durchsaugen von Luft die schädliche Kohlensäure entfernt, darauf der Recipient abgesperrt, nun jedes Mal vierundzwanzig Stunden stehen gelassen und alsdann die neugebildete Kohlensäure im Barytwasser der vorgelegten Röhre aufgefangen.

Die Resultate waren folgende:

Elodea canadensis.

Zu jedem Versuche dienten 12,5 Gramm = 12,35 Cc.

Zwei	Minuten	in	Wasserdampf;	nach 24	Stunden:	5,5 mgr CO_2.
Sechs	»	»	»	»	6,05	» »
Zehn	»	»	»	»	8,8	» »
Fünfzehn	»	»	»	»	6,82	» »
Zwanzig	»	»	»	»	9,57	» »
Dreissig	»	»	»	»	10,12	» »

Der Versuch wurde in gleicher Weise wiederholt.

Zwei	Minuten	in	Wasserdampf;	nach 24	Stunden:	5,72 mgr. CO_2.
Sechs	»	»	»	»	6,82	» »
Zehn	»	»	»	»	5,83	» »
Fünfzehn	»	»	»	»	4,62	» »
Zwanzig	»	»	»	»	6,83	» »
Dreissig	»	»	»	»	5,83	» »

Gerstenkeimlinge.

Zu jedem Versuche wurden 12,5 Gramm = 12,1 Cc. genommen.

a) Solche, deren oberirdischer Teil 8—9 cm lang und acht Tage über der Erde war.

Zwei	Minuten	in	Wasserdampf;	nach 24	Stunden:	36,3 mgr. CO_2.
Sechs	»	»	»	»	33	» »
Zehn	»	»	»	»	29,7	» »
Fünfzehn	»	»	»	»	23,76	» »
Zwanzig	»	»	»	»	28,82	» »
Dreissig	»	»	»	»	38,72	» »

b) Solche, deren oberirdischer Teil 10—11 cm lang und zehn Tage über der Erde war.

Zwei	Minuten	in	Wasserdampf;	nach 24	Stunden:	21,12 mgr. CO_2.
Sechs	»	»	»	»	26,26	» »
Zehn	»	»	»	»	14,52	» »
Fünfzehn	»	»	»	»	10,12	» »
Zwanzig	»	»	»	»	10,12	» »
Dreissig	»	»	»	»	25,52	» »

Weizenkeimlinge.

Jedem Versuche wurden wiederum 12,5 Gramm = 12,45 Cc. unterworfen.

a) Solche, deren oberirdischer Teil 8—9 cm lang und acht Tage über der Erde war.

Zwei Minuten	in	Wasserdampf;	nach	24	Stunden:	14,52	mgr. CO_2.
Sechs	»	»	»	»		17,82	» »
Zehn	»	»	»	»		26,62	» »
Fünfzehn	»	»	»	»		19,25	» »
Zwanzig	»	»	»	»		17,6	» »
Dreissig	»	»	»	»		20,9	» »

b) Solche, deren oberirdischer Teil 10—11 cm lang und acht Tage über der Erde war.

Zwei Minuten	in	Wasserdampf;	nach	24	Stunden:	7,15	mgr. CO_2.
Sechs	»	»	»	»		6,05	» »
Zehn	»	»	»	»		6,05	» »
Fünfzehn	»	»	»	»		8,8	» »
Zwanzig	»	»	»	»		20,35	» »
Dreissig	»	»	»	»		13,2	» »

Diese Kohlensäurebestimmungen der mit Wasserdampf getöteten Pflanzen wurden in der Weise wiederholt, dass nach den ersten vierundzwanzig Stunden zur Verhinderung von eintretender Fäulnis ein offenes Gläschen mit Äther in den Recipienten gebracht wurde, und die Bestimmungen nun mehrere Tage fortgesetzt, indem die jedes Mal während 24 Stunden neugebildete Kohlensäure abgesaugt und quantitativ bestimmt wurde.

Als Versuchsmaterial dienten hier zehn Tage alte Keimpflanzen von Gerste und Weizen und zwar zu jedem Versuche 12,5 Gramm. Die Einwirkung des kochenden Wassers betrug fünf Minuten.

Die Resultate waren folgende:

Gerstenkeimlinge.

Nach	den ersten	24	Stunden:	10,72	mgr. CO_2.
»	weiteren	»		10,05	» »
»	»	»		5,5	» »
»	»	»		4,4	» »
»	»	»		5,5	» »

Gesamtmenge nach fünf Tagen: 36,17 mgr. CO_2.

Weizenkeimlinge.

Nach	den ersten	24	Stunden:	6,05	mgr. CO_2.
»	weiteren	»		7,15	» »

Nach weiteren 24 Stunden:	5,5	»	»
» » »	3,3	»	»
» » »	4,4	»	»

Gesamtmenge nach fünf Tagen: 26,4 mgr. CO_2.

Auch bei diesen mit Wasserdampf getöteten Pflanzen zeigt es sich demnach, dass die Kohlensäureproduktion keineswegs sehr bald aufhört, sondern noch andauernd wesentliche Mengen derselben gebildet werden.

Bestimmung der Kohlensäure von Pflanzen, die durch Eintauchen in siedendes Wasser getötet waren.

Auch hier wurde, wie bei den qualitativen Versuchen näher angegeben ist, das für den Versuch bestimmte Material in einem kleinen Gazebeutel in lebhaft siedendes Wasser gebracht, alsdann in den Recipienten gefüllt, zur Entfernung der schädlichen Kohlensäure dreissig Minuten lang Luft durch den Apparat gesaugt, darauf der Recipient abgesperrt und nach vierundzwanzig Stunden die gebildete Kohlensäure abgesaugt und quantitativ bestimmt.

Die Zeitdauer für die Behandlung der Pflanzen mit kochendem Wasser betrug 2, 5, 10 und 15 Minuten.

Als Versuchsobjekt dienten hier Gersten- und Weizenkeimlinge und zwar zu jedem Versuch 12,5 Gramm.

Die Resultate waren folgende:

Gerstenkeimlinge.

a) Solche, deren oberirdischer Teil 8—9 cm lang und acht Tage über der Erde war.

Zwei Minuten in kochendem Wasser:	nach 24 Stunden;	24,42	mgr.	CO_2.
Sechs » »	»	20,02	»	»
Zehn » »	»	10,56	»	»
Fünfzehn » »	»	1,1	»	»

b) Solche, deren oberirdischer Teil 10—11 cm lang und zehn Tage über der Erde war.

Zwei Minuten in kochendem Wasser;	nach 24 Stunden:	19,92	mgr.	CO_2.
Sechs » »	»	8,36	»	»
Zehn » »	»	3,41	»	»
Fünfzehn » »	»	6,16	»	»

Weizenkeimlinge.

a) Solche, deren oberirdischer Teil 8—9 cm lang und acht Tage über der Erde war.

Zwei Minuten in kochendem Wasser; nach 24 Stunden: 16,72 mgr. CO_2.
Sechs » » » » 14,52 » »
Zehn » » » » 12,32 » »
Fünfzehn » » » » 8,91 » »

b) Solche, deren oberirdischer Teil 10—11 cm lang und acht Tage über der Erde war.

Zwei Minuten in kochendem Wasser; nach 24 Stunden: 18,7 mgr. CO_2.
Sechs » » » » 2,5 » »
Zehn » » » » 9,9 » »
Fünfzehn » » » » 19,8 » »

Es ist bei diesen Versuchen bemerkenswert, dass sich hier bei längerer Einwirkung des kochenden Wassers in den meisten Fällen eine Abnahme der Kohlensäurequantität konstatieren lässt, die offenbar damit zusammenhängt, dass beim längeren Verweilen der Pflanzen in dem kochenden Wasser eine allmähliche Extraktion der die Kohlensäurebildung veranlassenden Stoffe stattfindet.

Der besseren Übersicht wegen habe ich in den nachstehenden vier Tabellen die Resultate dieser quantitativen Kohlensäurebestimmungen kurz zusammengestellt.

I. Bestimmung der jedes Mal während 24 Stunden neugebildeten Kohlensäure von Pflanzen, die sich fortwährend in gesättigter Ätheratmosphäre befanden.

Gegenstand und Quantität.		Producierte Kohlensäure in Milligrammen: nach den ersten 24 Stunden	nach weiteren 24 Stunden	nach weiteren 24 Stunden	nach weiteren 24 Stunden	Gesamtmenge nach vier Tagen
Fucus vesiculosus 25 grm	erste Versuchsreihe	10,23	6,83	4,51	4,18	25,75
	zweite Versuchsreihe	9,13	5,22	4,51	4,51	23,37
Elodea canadensis 25 grm	erste Versuchsreihe	13,88	5,28	4,73	4,73	28,62
	zweite Versuchsreihe	15,73	4,84	5,83	6,06	32,46
Keimpflanzen v. Gerste 25 grm	oberird. Teil 7—8 cm	22,8	6,93	5,28	5,28	40,29
	oberird. Teil 9—10 cm	24,2	5,61	4,51	4,55	38,87
Keimpflanzen v. Weizen 25 grm	oberird. Teil 7—8 cm	16,28	5,28	4,18	4,38	30,12
	oberird. Teil 9—10 cm	16,22	5,06	5,06	4,51	30,85

II. Bestimmung der während 24 Stunden neugebildeten Kohlensäure von mit siedendheissen Wasserdämpfen behandelten Pflanzen.

Gegenstand und Quantität.	Dauer der Dampfeinwirkung.	Producierte Kohlensäure in Milligrammen					
		zwei Minuten	sechs Minuten	zehn Minuten	fünfzehn M.	zwanzig Minuten	dreissig Minuten
Elodea canadensis 12,5 grm	erste Versuchsreihe	5,5	6,05	8,8	6,82	9,57	10,12
	zweite Versuchsreihe	5,72	6,82	5,83	4,62	6,38	5,83
Keimpflanzen von Gerste 12,5 grm	oberird. Teil 8—9 cm	36,3	33,0	29,7	23,76	28,82	38,72
	oberird. Teil 11—11 cm	21,12	26,62	14,52	10,12	10,12	25,52
Keimpflanzen von Weizen 12,5 grm	oberird. Teil 8—9 cm	14,52	17,82	26,62	19,25	17,6	20,9
	oberird. Teil 10—11 cm	7,15	6,05	6,05	8,8	20,35	13,2

III. Längere Zeit fortgesetzte Bestimmungen der Kohlensäure von Keimpflanzen, in der Weise, dass nach den ersten 24 Stunden ein Gefäss mit Äther zur Verhinderung eintretender Fäulnis in den Recipienten gebracht wurde.

Gegenstand und Quantität.	Producierte Kohlensäure in Milligrammen				
	nach den ersten 24 Stunden	nach Zusatz von Äther			
		nach weiteren 24 Stunden	nach weiteren 24 Stunden	nach weiteren 24 Stunden	nach weiteren 24 Stunden
Keimpflanzen von Gerste 12,5 grm oberird. Teil 10 cm	10,725	10,05	5,5	4,4	5,5
Keimpflanzen von Weizen 12,5 grm oberird. Teil 10 cm	6,05	7,15	5 5	3,3	4,4

IV. Bestimmung der während 24 Stunden neugebildeten Kohlensäure von Pflanzen nach der Behandlung mit kochendem Wasser.

Gegenstand und Quantität.	Dauer der Einwirkung des kochenden Wassers.	Producierte Kohlensäure in Milligrammen			
		zwei Minuten	sechs Minuten	zehn Minuten	fünfzehn Minuten
Keimpflanzen von Gerste 12,5 grm	oberird. Teil 8—9 cm	24,42	20,02	10,56	1,1
	oberird. Teil 10—11 cm	19,92	8,36	3,41	6,16
Keimpflanzen von Weizen 12,5 grm	oberird. Teil 8—9 cm	16,72	14,52	12,32	8,91
	oberird. Teil 10—11 cm	18,7	2,5	9,9	19,8

Bei diesen quantitativen Bestimmungen fiel es mir auf, dass, obgleich auf die Ausführung derselben die grösste Sorgfalt verwendet und alle einzelnen Versuche in durchaus übereinstimmender Weise gemacht wurden, doch die Quantität der erhaltenen Kohlensäure in einigen Fällen, wie aus den Zahlen ersichtlich, bedeutend variierte. Doch erfuhr ich beim weiteren Verfolg meiner Arbeit bald die Ursache hierfür, indem es sich zeigte, wie auch unten weiter ausgeführt ist, dass die Temperatur auf die Menge der producierten Kohlensäure einen wesentlichen Einfluss ausübt. Nun fanden diese quantitativen Bestimmungen, gleich den im ersten Teil dieser Arbeit angeführten qualitativen Versuchen, im Wintersemester statt, und zwar war die Temperatur, bei der dieselben ausgeführt wurden, am Tage die eines geheizten Zimmers von 15—20° C., das sich aber in der Nacht, je nachdem die Temperatur im Freien über oder unter Null war, ungleich abkühlte. Da nun hier jedes Mal zur Bildung der Kohlensäure ein Zeitraum von 24 Stunden angewendet wurde, so musste dann, je nachdem die Nacht wärmer oder kälter war, auch von dem Versuchsobjekt mehr oder weniger Kohlensäure entbunden werden.

Es könnte nun immerhin noch die Behauptung aufgestellt werden, dass diese post mortem auftretende Menge von Kohlensäure nicht notwendig neu gebildet sein brauche, sondern daher rühre, dass dieselbe noch im getöteten Protoplasma und Zellsaft in bedeutender Menge gelöst und nun während der Zeit, wo die Pflanzen im Recipienten abgesperrt waren, in den Raum des letzteren hineindiffundiert sei, so dass diese durch Diffusion aus dem Versuchsmaterial freigewordene Menge von Kohlensäure beim Absaugen die mehr oder weniger starke Trübung des Barytwassers veranlasst habe.

Die absolute Unhaltbarkeit dieser eventuellen Annahme durch ein einfaches Rechenexempel zu beweisen, möge mir noch kurz gestattet sein. Der Absorptionskoëfficient der Kohlensäure, d. h. diejenige Volummenge, welche ein Volum einer Flüssigkeit bei 760 mm Druck zu absorbieren vermag, ist für Wasser von 10° C. gleich 1,848.[1])

Ich will nun, als den für mich ungünstigsten Fall, für das ganze Volum des jedes Mal zu einem Versuch verwendeten Materials destilliertes Wasser nehmen; ferner möge mit Rücksicht auf

[1]) R. Bunsen, Gasometrische Methoden, 2. Aufl., p. 219.

die in der Nacht stattfindende Abkühlung eine mittlere Temperatur von 10 ° C. angenommen werden, und endlich betrage der Gehalt der Atmosphäre an Kohlensäure 0,1 Procent, also bedeutend mehr als in Wirklichkeit. Dann vermöchten 12,45 Cc. Wasser, entsprechend 12,5 Gramm Weizenkeimlingen, bei 10 ° C. und einem Barometerstand von 760 mm 12,45 × 1,848 = 14,75 Cc. Kohlensäure zu absorbieren. Nun ist aber nach dem Henry-Daltonschen Gesetze für Gase, deren Moleküle von den Flüssigkeitsmolekülen nicht merklich angezogen werden, die absorbierte Menge dem »Partialdruck« proportional. Für die von mir angenommene 0,1 Procent Kohlensäure enthaltende Atmosphäre beträgt dieser Partialdruck daher 0,76 mm. Mithin vermag das obige Volum Wasser nur 0,01475 Cc. = 0,02255 mgr. CO_2 zu absorbieren, welche minimale Menge von Kohlensäure zu der von mir gefundenen in gar keinem Verhältnis steht. Ausserdem stellt sich ja in Wirklichkeit das Verhältnis für diese etwa noch in der Pflanze enthaltene Menge von Kohlensäure viel ungünstiger. Denn:

1) ist die in dem Versuchsmaterial vorhandene Trockensubstanz von dem Gesamtvolum in Abzug zu bringen,

2) wird das Lösungsvermögen durch die im Zellsaft und Protoplasma enthaltenen organischen und anorganischen Bestandteile verringert,

3) ist anzunehmen, dass bei den Versuchen mit kochendem Wasser und siedendheissem Wasserdampf eine mehr oder weniger völlige Austreibung der Kohlensäure stattfindet.

Nun wäre noch eine fernere Möglichkeit vorhanden, dass im Protoplasma der Pflanze eine grössere Quantität von chemisch locker gebundener Kohlensäure, wie solche auch im Blut der Tiere vorkommt, enthalten sei, die nun nach dem Tode abgespalten und successive entwickelt wird, und diese dann nachher beim Absaugen die Trübung des Barytwassers in der Vorlage veranlasse. Da solche chemisch nur locker gebundene Kohlensäure schon beim Auspumpen unter der Luftpumpe frei wird, wurde eine Reihe von Versuchen in der Art ausgeführt, dass das mit Wasserdampf getötete Material unter dem Recipienten einer Luftpumpe evakuiert und längere Zeit im Vakuum stehen gelassen wurde. Alsdann wurde es sofort in das Aufnahmegefäss *C* gebracht, nun zunächst die noch im Apparat vorhandene unreine Luft durch Absaugen entfernt und alsdann das Gefäss eine bestimmte Zeit über luftdicht verschlossen stehen gelassen. Liesse sich dann nach dieser Zeit beim Absaugen Kohlen-

säure nachweisen, so musste dieselbe notwendig neu gebildet sein. Als Beispiel will ich nur zwei in dieser Weise mit acht Tage alten Keimpflanzen von Gerste und Weizen angestellte Versuche anführen. Die Pflanzen waren zuvor durch fünf Minuten lange Einwirkung von kochendheissen Wasserdämpfen getötet und ergaben folgendes Resultat:

12,5 grm. Gerstenkeimlinge; nach 20 Stunden: 26,2 mgr. CO_2.
12,5 » Weizenkeimlinge; » 22,5 » »

Mithin ist auch diese Befürchtung unnötig, und es kann daher die jedes Mal nach einer bestimmten Zeit aus dem Recipienten abgesaugte Kohlensäure nur durch Neubildung entstanden sein.

Endlich mag noch erwähnt sein, dass ich mich auch hier bei diesen quantitativen Versuchen unmittelbar nach Beendigung derselben wiederholt durch sehr exakte mikroskopische Prüfung auf Bakterien davon überzeugte, dass eine etwaige Bildung der Kohlensäure durch letztere als durchaus ausgeschlossen betrachtet werden musste, und daher diese noch post mortem auftretende Kohlensäure ihre Entstehung in der Pflanze einer anderen Quelle zu verdanken hatte.

Untersuchung über die Ursache der Kohlensäurebildung.

Nachdem wir somit zweifellos eine noch postmortale stattfindende Kohlensäureproduktion nachgewiesen haben, tritt an uns die Frage heran, woher dieselbe stammt, ob sie ein blosses Zersetzungs- und Abspaltungsprodukt der im Patoplasma enthaltenen chemischen Verbindungen ist, oder ob wir es auch hier, analog dem Atmungsprozess in der lebenden Pflanze, mit leicht oxydablen Stoffen zu thun haben, die nun noch nach dem Tode der Pflanze einer fortwährenden Oxydation durch den atmosphärischen Sauerstoff unter Bildung von Kohlensäure unterliegen. Ist ersteres der Fall, tritt die Kohlensäure nur als Abspaltungsprodukt auf, ohne dass eine Oxydation damit verbunden zu sein braucht, dann muss nothwendigerweise auch in einer sauerstofffreien Luft, z. B. in einer reinen Wasserstoffatmosphäre, eine Kohlensäurebildung in gleicher Weise stattfinden. Es wurde daher eine Reihe von Versuchen angestellt, indem die Pflanzen, zuvor durch fünf Minuten lange Einwirkung von siedendheissen Wasserdämpfen getötet, eine bestimmte Zeit über in eine Atmosphäre von reinem Wasserstoff gebracht wurden. Nach dieser Zeit wurde sodann untersucht, ob eine Bildung von Kohlensäure in der Wasserstoffatmosphäre stattgefunden hatte. Der Apparat, dessen ich mich hierzu bediente, war zum Teil derselbe wie bei

den früheren Versuchen. Nur war mit demselben an Stelle des Aspirators zur Entwicklung des Wasserstoffgases ein mit Zink und siebenprozentiger Schwefelsäure beschickter Kipp'scher Apparat verbunden. Zwischen diesen und den zur Aufnahme des Versuchsmaterials dienenden Recipienten war ausserdem noch ein System von Waschflaschen eingeschaltet, von welchen die erste mit Kalilauge getränkte Bimsteinstücke, die zweite eine angesäuerte Kaliumpermanganatlösung, die dritte Kalilauge und endlich die letzte, als Kontrolflasche dienende eine klare Baryumhydroxydlösung enthielt, um den Wasserstoff in möglichster Reinheit in den Recipienten gelangen zu lassen. Nun wurde nach Anfüllung des letzteren mit dem zu untersuchenden Pflanzenmaterial ein kräftiger aber gleichmässiger Strom von Wasserstoff durch den Apparat geleitet, bis alle atmosphärische Luft aus letzterem verdrängt war und nun der Apparat, luftdicht verschlossen, eine bestimmte Zeit sich selbst überlassen.

Zum Auffangen der während dieser Zeit etwa gebildeten Kohlensäure wurde, wie bei den vorhin erwähnten Versuchen, eine mit klarem Barytwasser angefüllte Pettenkofersche Röhre vorgelegt und wiederum dreissig Minuten lang ein gleichmässiger Wasserstoffstrom durch den Apparat geleitet, wobei alle im Recipienten gebildete Kohlensäure verdrängt und von der Vorlage absorbiert wurde. Zugleich wurde jedesmal ein entsprechender Parallelversuch mit dem gleichnamigen Pflanzenmaterial von möglichst gleicher Qualität und bei genau derselben Temperatur in atmosphärischer Luft angestellt und in beiden Fällen die vom Barytwasser der vorgelegten Röhre absorbierte Menge von Kohensäure quantitativ bestimmt. Ich benutzte zu diesen Versuchen teils wiederum acht Tage alte Keimpflanzen von Weizen und Gerste, teils die oberen, lebhaftes Wachstum zeigenden Teile von Elodea canadensis, sowie die jungen Blätter samt den Blattstielen von Aegopodium Podagraria und Anthriscus silvestris. Von Aegopodium wurden dreissig, von allen anderen Pflanzen zwanzig Gramm jedem Versuche unterworfen. Die Zeit der Absperrung betrug in allen Fällen 22 Stunden. Die Temperatur endlich war hier am Tage 25° C., die sich in der Nacht auf 20° abkühlte. Die einzelnen Versuche wurden zweimal ausgeführt.

Die Resultate waren folgende:

Weizenkeimlinge.

	In Wasserstoff:	In atmosphärischer Luft:
I. Versuch:	0 mgr. CO_2.	47,7 mgr. CO_2.
II. »	0 » »	57,2 » »

Gerstenkeimlinge.

	In Wasserstoff:	In atmosphärischer Luft:
I. Versuch:	2,75 mgr. CO_2.	35,2 mgr. CO_2.
II. »	2,75 » »	48,3 » »

Blätter von Aegopodium Podagraria.

	In Wasserstoff:	In atmosphärischer Luft:
I. Versuch:	3 mgr. CO_2.	127,2 mgr. CO_2.
II. »	3,3 » »	108,3 » »

Blätter von Anthriscus silvestris.

	In Wasserstoff:	In atmosphärischer Luft:
I. Versuch:	0 mgr. CO_2.	49,3 mgr. CC_2.
II. »	0 » »	47,5 » »

Elodea canadensis.

	In Wasserstoff:	In atmosphärischer Luft:
I. Versuch:	0 mgr. CO_2.	29,3 mgr. CO_2.
II. »	0 » »	31,4 » »

Vergleicht man diese gefundenen Mengen von Kohlensäure, gar keine oder ganz geringe Quantitäten in der Wasserstoffatmosphäre und andererseits dieses ganz enorme Quantum aus ebensoviel Material in sauerstoffhaltiger Luft, so ist es einleuchtend, dass diese reichliche Bildung von Kohlensäure unbedingt an die Aufnahme von Sauerstoff geknüpft sein und in der That diese noch im getöteten Pflanzenmaterial stattfindende Kohlensäureproduktion als ein Oxydationsprozess angesehen werden muss. Die bei Gerste und Aegopodium auch in der Wasserstoffatmosphäre erhaltenen, ganz minimalen Quantitäten von Kohlensäure dürften wohl deshalb von ganz nebensächlicher Bedeutung sein, weil dieselben höchst wahrscheinlich daher rühren, dass in der Wasserstoffatmosphäre noch Spuren von Sauerstoff enthalten waren, welch' letzterer nun auf die vorhandenen oxydierbaren Substanzen oxydierend einwirkte und daher auch in der Wasserstoffatmosphäre diese Spuren von Kohlensäure zu bilden vermochte.

Einfluss der Temperatur auf die Quantität der gebildeten Kohlensäure.

Schon aus dem Bisherigen geht hervor, dass wir es hier mit analogen Erscheinungen zu thun haben, die wir im lebenden Pflanzenorganismus unter den Begriff »Atmung« zusammenfassen. Diese Übereinstimmung damit wird jedoch noch eine viel grössere dadurch, dass, wie gleich näher ausgeführt werden soll, auch diese postmor-

tale stattfindende Oxydation und damit verbundene Kohlensäureproduktion in hohem Grade von der Temperatur abhängig ist.

Es zeigte sich nämlich die auffallende und interessante Thatsache, dass, während bei einer Temperatur bis zu 11° C. nur geringe Mengen von Kohlensäure nach einer bestimmten Zeit in dem getöteten Material nachzuweisen waren, mit zunehmender Temperatur auch eine Steigerung der Kohlensäureproduktion eintrat.

Die über diese Temperatureinwirkung angestellten Versuche wurden, um daraus einen sichern Schluss ziehen zu können, des öfteren, nämlich fünf Mal, wiederholt und in der Weise ausgeführt, dass jedesmal nebenher ein Parallelversuch mit lebendem, möglichst gleichwertigem Material unter sonst denselben Bedingungen gemacht wurde, um die vom toten und lebenden Material erhaltene Menge von Kohlensäure miteinander vergleichen zu können. Als Versuchsobjekt dienten wiederum die jungen Blätter von Aegopodium Podagraria und Anthriscus silvestris. Als Versuchstemperatur wurde einmal eine konstante Kellertemperatur von 11° C., sodann die Temperatur eines am Tage geheizten Zimmers von 25° C., das sich in der Nacht auf 20° abkühlte, angewendet, während ausserdem noch Versuche bei einer Temperatur von 30 –32° C. in einem mit Wärmeregulator versehenen Brütofen ausgeführt wurden. Die Zeit der Absperrung im Recipienten betrug vierundzwanzig Stunden. Um die Pflanzen zum Absterben zu bringen, wurden dieselben auch hier fünf Minuten hindurch siedendheissen Wasserdämpfen ausgesetzt.

Da sich hier bei der oft recht bedeutenden Quantität von gebildeter Kohlensäure 50 Cc. der als Absorptionsflüssigkeit dienenden Barytlösung, wie solche bei den früheren Bestimmungen verwendet wurden, als unzureichend zur völligen Absorption erwiesen, wurden entsprechend mehr, meist 100 Cc., vorgelegt. Zu jedem Versuche wurden hier 10 Gramm Blätter verwendet.

Die Versuche ergaben folgendes Resultat:

Blätter von Aegopodium Podagraria

bei 11°		bei 20—25°		bei 30—32°	
lebend	tot	lebend	tot	lebend	tot
42,35 mgr CO_2	6,2 mgr CO_2	91 mgr CO_2	56,9 mgr CO_2	160 mgr CO_2	172 mgr CO_2
41,25 » »	5,5 » »	88,7 » »	54 » »	166,2 » »	170,5 » »
45,1 » »	4,4 » »	83,6 » »	51,85 » »	163,2 » »	172,8 » »
40,5 » »	4 » »	88,55 » »	53,55 » »	174 » »	179 » »
41,2 » »	4 » »	92 » »	58,2 » »	160 » »	174,3 » »

Blätter von Anthriscus silvestris

bei 11 °		bei 20—25 °		bei 30—32 °	
lebend	tot	lebend	tot	lebend	tot
28,2 mgr CO_2	2,42 mgr CO_2	62,15 mgr CO_2	35,75 mgr CO_2	146,3 mgr CO_2	173 mgr CO_2
27 » »	2,75 » »	75,9 » »	27,5 » »	166,9 » »	180,2 » »
30,2 » »	2,75 » »	91,85 » »	30,3 » »	160 » »	171,3 » »
31 » »	2,75 » »	84,14 » »	35,2 » »	148,3 » »	181,2 » »
32 » »	3,2 » »	75,25 » »	36,3 » »	149 » »	169 » »

Wie diese Versuche zeigen, findet bei einer Temperatur von 11 ° C. eine, wenn auch quantitativ bestimmbare, jedoch geringe Kohlensäureproduktion statt, wogegen erheblich mehr Kohlensäure bei 20—25 ° C., noch mehr dagegen bei 30—32 ° C. gebildet wird, bei letzter Temperatur merkwürdigerweise mehr vom toten als vom lebenden Material.

Es lag mir nun noch daran, einen Versuch mit getöteten Pflanzen in der Weise auszuführen, dass schon nach kürzerer Zeit eine Bestimmung der gebildeten Kohlensäure vorgenommen und diese in kurzen Zeitabschnitten bei demselben Versuchsobjekt mehrmals wiederholt wurde, um zu erfahren, ob anfangs eine grössere Menge von Kohlensäure erhalten wurde, als nachher, oder ob umgekehrt nachher mehr Kohlensäure produciert wurde, oder ob endlich die Menge der gebildeten Kohlensäure sich in den einzelnen Zeiträumen gleich verhielt.

Zu diesem Zwecke wurde das Versuchsmaterial, zuvor durch fünf Minuten lange Behandlung mit siedendheissen Wasserdämpfen getötet, in den Recipienten gebracht, die schädliche Kohlensäure völlig entfernt und darauf der Recipient, gut verschlossen, zwei Stunden bei Seite gestellt. Nach dieser Zeit wurde die gebildete Kohlensäure abgesaugt, in einer mit Barytwasser beschickten Röhre aufgefangen und quantitativ bestimmt. Nach dem Absaugen wurde der Recipient sofort wieder geschlossen, nach abermals zwei Stunden die gebildete Kohlensäure wieder abgesaugt und quantitativ bestimmt. Dieses wiederholte Absaugen nach jedesmal zwei Stunden wurde dann noch einige Male fortgesetzt und schliesslich der Recipient die noch an vierundzwanzig Stunden fehlende Zeit über abgeschlossen stehen gelassen und darauf auch die während dieser Zeit noch gebildete Kohlensäure quantitativ ermittelt.

Zum Absaugen der jedes Mal neugebildeten Kohlensäure genügten hier fünfzehn Minuten, nach welcher Zeit weitere fünf Minuten keine bestimmbaren Mengen von Kohlensäure mehr ergaben.

Als Versuchsmaterial dienten hier Aegopodiumblätter. Die Temperatur betrug in den ersten zwölf Stunden konstant 25 ° C. und kühlte sich dann bis auf 20 ° ab.

Das Resultat war folgendes:

30 Gramm der mit Wasserdampf getöteten Aegopodiumblätter gaben:

nach	den ersten	zwei	Stunden:	6 mgr.	CO_2,
»	weiteren	»	»	5,5 »	»
»	»	»	»	5,5 »	»
»	»	»	»	5,5 »	»
»	»	sechzehn	»	43,3 »	»

Gesamtmenge nach 24 Stunden: 65,8 mgr. CO_2.

Der Versuch wurde in gleicher Weise wiederholt:

nach	den ersten	zwei	Stunden:	5,5 mgr.	CO_2,
»	weiteren	»	»	5 »	»
»	»	»	»	5 »	»
»	»	»	»	5 »	»
»	»	sechzehn	»	46 »	»

Gesamtmenge nach 24 Stunden: 66,5 mgr. CO_2.

Dass die in vierundzwanzig Stunden erzeugte Gesamtmenge von Kohlensäure hier weniger beträgt, als bei den vorhin bei gleicher Temperatur ausgeführten Versuchen, wo schon aus 10 Gramm Substanz c. 55 mgr. CO_2 erhalten wurden, kommt daher, weil zu diesen beiden Versuchen ältere, auch im lebenden Zustande weniger Kohlensäure ausgebende Blätter benutzt wurden, da mir jüngere momentan nicht zur Hand waren, und es mir hier nur darauf ankam, das Verhältnis der in den einzelnen Zeitabschnitten erzeugten Kohlensäurequantitäten zu einander festzustellen.

Wie aus den Versuchen hervorgeht, wurde in den ersten zwei Stunden nur wenig mehr Kohlensäure produciert als in den vier folgenden je zwei Stunden. Aber auch die in den weiteren sechszehn Stunden erzeugte Kohlensäure beträgt hier bei dem ersten Versuche relativ nicht mehr, bei dem zweiten relativ nur unbedeutend mehr als jedesmal vorher in zwei Stunden gebildet wurde. Daraus geht hervor, dass in gleichen Zeiträumen annähernd gleiche Mengen dieses Gases produciert wurden. Hierdurch wird zugleich jede weitere Annahme von Bakterien als Quelle der Kohlensäurebildung unhaltbar gemacht. Denn sonst müsste es doch höchst wunderbar erscheinen, dass in den ersten zwei Stunden, wo die Bakterien erst anfangen, sich in dem Nährsubstrat zu bilden, noch

etwas mehr Kohlensäure gebildet wurde, als nachher in derselben Zeit, und dass dann jedes Mal in den weiteren zwei Stunden nicht erheblich mehr von diesem Gase auftrat, was mit der Entstehung und rapiden Vermehrung der Spaltpilze in direktem Widerspruch steht. Was nun das Auftreten dieser oxydablen Stoffe in dem bereits toten Pflanzenkörper anbelangt, so dürften die hinsichtlich der Oxydation derselben konstatierten Thatsachen wohl am meisten zu der Annahme berechtigen, dass die ganze Menge der oxydablen Substanz bereits in der toten Pflanzenzelle präexistiert. Es erklärt sich dann die noch andauernd in annähernd gleicher Stärke vor sich gehende Oxydation derselben dadurch, dass in dem Maasse, in welchem von aussen her successive molekularer Sauerstoff in das Innere der Zelle hineindiffundiert, eine Verbrennung der im Zellinnern vorhandenen oxydablen Substanz herbeigeführt wird.

Durch diese konstatierten Thatsachen aber inbezug auf einen noch im toten Pflanzenkörper andauernd auftretenden Oxydationsprocess unter Kohlensäureausscheidung gewinnt dann auch die von Reinke [1]) aufgestellte Atmungstheorie sehr an Wahrscheinlichkeit und dürfte an der Hand dieser Ergebnisse von geradezu bahnbrechender Bedeutung sein. Nach dessen Theorie sollen in der lebenden Pflanzenzelle autoxydable Körper vorhanden sein, die unter Spaltung des molekularen Sauerstoffes ein Atom desselben aufnehmen und dabei eine Verbrennung erfahren, wobei also eine Aktivierung des Sauerstoffes eintritt, indem nun das andere noch freie Atom imstande ist, eine Verbrennung von bradoxydablen, d. h. schwer verbrennlichen und durch molekularen Sauerstoff bei niederer Temperatur nicht angegriffenwerdenden Stoffen herbeizuführen. Und zwar findet nach genanntem Forscher die Oxydation ausschliesslich in der peripherischen Zone des Protoplasmas statt, indem dieser das autoxydable Material fortwährend zugeführt wird, sodass schon in dieser Zone aller Sauerstoff verbraucht wird. In der oben angeführten Abhandlung von Reinke heisst es wörtlich also: — »Der Ort, bez. das Organ für die Oxydationen ist bei allen farblosen Zellen ausschliesslich die peripherische Schicht des Protoplasmaleibes; -- bei chlorophyllfaltigen Zellen, die einen Specialfall bilden, der hier nicht weiter diskutiert werden soll, bildet bei Insolation jedes im Innern gelegene Chlorophyllkorn eine besondere im Vergleich zu dem Bedürfnisse der Zelle überreiche Sauerstoff-

[1]) L. c. p. 95.

quelle, sodass von der Zelle noch Sauerstoff ausgeschieden wird. — Hier wird aller aus der Atmosphäre in die Zelle eintretende Sauerstoff gebunden. Denn einerseits absorbiert die Zelle Sauerstoff mit viel grösserer Energie, als ihrer einfachen physikalischen Kapacität für dieses Gas entspricht, die Ursache dieser Absorptions-Energie ist also chemische Bindung. Wäre nun Sauerstoff in der ganzen Zelle enthalten, so würden autoxydable Substanzen im Innern nicht zur Anhäufung gelangen können. Dass übrigens die Oxydationszone von der Hautschicht mehr oder weniger tief sich in das Protoplasma hineinerstrecken kann, soll natürlich nicht in Abrede gestellt werden.« — Während nun Reinke solche auch noch nach dem Tode in der Pflanze vorhandene autoxydable Körper als die Ursache der Atmung ansieht, ist Pfeffer [1]) anderer Ansicht und nimmt an, dass in jeder Zelle freier Sauerstoff vorhanden ist, dass dieser aber die sich in der lebenden Zelle bis zu einem gewissen Grade anhäufenden autoxydablen Stoffe nicht sogleich zu oxydieren vermag. Das Vorhandensein von leicht oxydierbaren Substanzen in der Pflanzenzelle ist nun durch die vorstehenden Untersuchungen unzweifelhaft bewiesen. Dass diese aber in der That auch von solcher autoxydablen Natur sind, mit deren Hilfe sie sonst schwer verbrennliche Körper auch bei niederer Temperatur der Verbrennung fähig machen, dürfte deshalb sehr glaubwürdig erscheinen, weil sich thatsächlich ein Teil der noch postmortale gebildeten Kohlensäure auf die Verbrennung von solchen schwer verbrennlichen Substanzen, nämlich Traubenzucker, zurückführen lässt, worüber unten ausführlicher berichtet ist.

Zuckerbestimmungen.

Wie am Schluss des vorigen Abschnittes bereits kurz erwähnt ist, vermag ich im Nachstehenden den Nachweis zu liefern, dass ein Teil der post mortem auftretenden Kohlensäure auf eine stattgefundene Verbrennung von vorhanden gewesenen löslichen Kohlehydraten, speciell Traubenzucker, zurückzuführen ist. Es ist dies um so bemerkenswerter, als man nach dem heutigen Standpunkt der Wissenschaft auch bei der Atmung der lebenden Pflanzen fast allgemein eine Verbrennung von Kohlehydraten annimmt.

Als Material für die hierüber angestellten Untersuchungen wählte ich die Blätter der bereits mehrfach erwähnten Aegopodiumpflanze. Zunächst wurde durch eine Reihe von Analysen der Gehalt

[1]) Untersuchungen aus d. botan. Institut zu Tübingen, 1881—85, Bd. I, p. 683 ff.

an Traubenzucker, bez. an Fehlingsche Lösung reducierenden Substanzen in den frisch gepflückten Blättern bestimmt. Die Bestimmung des Zuckers geschah in der Weise, dass eine gewogene Gewichtsmenge, dreissig Gramm, der sehr fein zerschnittenen Blätter mit ca. 300 Cc. Wasser eine Stunde hindurch bis auf 80—90 ° C. erhitzt wurden. Sodann wurde koliert, der Rückstand gut ausgepresst, die Kolatur zur völligen Abscheidung der noch gelösten Eiweissstoffe nach dem Ansäuern mit verdünnter Essigsäure bis zur schwach sauren Reaktion einmal aufgekocht, filtriert und in dem gewogenen Filtrat der Zucker in bekannter Weise mit Fehlingscher Lösung titriert. Wenn nun möglicherweise in dem wässrigen Pflanzenauszuge neben Zucker auch noch geringe Mengen anderer auf Fehlingsche Lösung reducierend wirkender Substanzen vorhanden sind, so würde dadurch der Gehalt an Traubenzucker etwas höher ausfallen, als derselbe in Wirklichkeit beträgt. Diese Ungenauigkeit wird jedoch dadurch wieder ausgeglichen, dass alle Bestimmungen in gleicher Weise ausgeführt wurden, mithin ein etwaiges geringes Plus dann ja auch dem veratmeten, toten Material zu gute kam.

Es wurde nun zunächst der Gehalt an Zucker in je dreissig Gramm der jungen, frisch gepflückten Blätter bestimmt und in drei Parallelversuchen, wie folgt, gefunden:

I. 280 mgr. Zucker,
II. 276,3 » »
III. 276,3 » »

also im Durchschnitt 277,5 mgr. Zucker,

die in dreissig Gramm der lebenden Blätter enthalten sind.

Nun wurden je dreissig Gramm der Blätter von möglichst gleicher Qualität durch fünf Minuten lange Behandlung mit siedendheissen Wasserdämpfen getötet, vierundzwanzig Stunden in bedecktem Gefässe bei verschiedenen Temperaturen, nämlich bei 11 ° C. und 20—25 ° C. bei Seite gestellt und nach dieser Zeit ebenfalls zur Bestimmung des Zuckers geschritten. Auch hier wurden jedes Mal drei Parallelbestimmungen ausgeführt. Die Resultate waren folgende:

bei 11°

I. 280 mgr. Zucker,
II. 276,3 » »
III. 276,3 » »

also im Durchschnitt 277,5 mgr. Zucker,

sodass hier keine Abnahme stattgefunden hat;

bei 20—25 °

I. 200 mgr. Zucker,
II. 221 » »
III. 210 » »

In diesem Falle, bei Anwendung einer Temperatur von 20 bis 25 ° C., hat somit ein Verlust an Zucker von 77,5, bez. 56,5 und 67,5 mgr. stattgefunden. Nun vermag ein Molekül Traubenzucker von der empirischen Formel $C_6H_{12}O_6$ sechs Moleküle Kohlensäure, CO_2, zu liefern.

Denn: $C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 = 6\,CO_2 + 6\,H_2O$.

Das Molekulargewicht von Traubenzucker ist gleich 180, dasjenige von Kohlensäure gleich 44. Also würden 180 Gewichtsteile Traubenzucker bei der Verbrennung 264 Gewichtsteile Kohlensäure zu geben vermögen. Daraus berechnet sich dann leicht, dass die oben gefundenen Zuckerverluste einer gebildeten Menge von Kohlensäure entsprechen, die gleich 119,22, bez. 81,79 und 99 mgr. ist.

Hiergegen könnte nun der Einwand erhoben werden, dass diese während einer Zeitdauer von vierundzwanzig Stunden verloren gegangene Menge von Zucker nicht notwendig eine Verbrennung erfahren haben brauche, sondern dass dieser Verlust ebenso gut durch mittlerweile eingetretene Gährung erfolgt sein könne. Um mir hierüber Gewissheit zu verschaffen, wurden die Versuche in der Weise wiederholt, dass je dreissig Gramm der mit Wasserdampf behandelten Blätter in einen gut zu verschliessenden Recipienten gebracht wurden, in welchem ein Glas mit Äther angebracht war, sodass das Versuchsobjekt sich fortwährend in einer gesättigten Ätheratmosphäre befand. Alsdann wurde nach Verlauf von vierundzwanzig Stunden ebenfalls eine Zuckerbestimmung vorgenommen.

Das Resultat aus drei Versuchen war folgendes:

I. 222 mgr. Zucker,
II. 233 » »
III. 233 » »

Mithin hat auch hier ein zwar etwas geringerer, jedoch erheblicher Verlust an Zucker stattgefunden, welcher einer Gewichtsmenge von 81,4, bez. 65,62 mgr. Kohlensäure entspricht. Obgleich nun wohl in einer koncentrierten Ätheratmosphäre ein Verlust an Zucker durch eingetretene Gährung als ausgeschlossen angesehen werden darf, so wurden doch noch einige Zuckerbestimmungen mit solchem Material gemacht, das sich bei gleicher Temperatur dieselbe Zeit über in einer Wasserstoffatmosphäre befunden hatte. Denn wenn

dieser Zuckerverlust blos auf Gährung beruhte, so musste auch in einer Wasserstoffatmosphäre eine Abnahme an Zucker erfolgen, da in dieser bekanntlich eine etwaige Gährung nicht unterdrückt wird.

Es wurden daher dreissig Gramm der mit Wasserdampf getöteten Blätter vierundzwanzig Stunden über in eine reine Wasserstoffatmosphäre gebracht und nach dieser Zeit ebenfalls eine Ermittelung des Zuckers vorgenommen. Den Wasserstoff stellte ich mir hier in derselben Weise dar, wie bei den früher (Seite 36) erwähnten Versuchen mit Wasserstoff. Das Resultat aus wiederum drei Versuchen war folgendes:

I. 280 mgr. Zucker,
II. 272,7 » »
III. 278 » »

Vergleicht man diese gefundenen Werte mit den oben erhaltenen Zahlen für den Zuckergehalt in gleichviel der in frisch gepflücktem Zustande der Analyse unterworfenen Blätter, wo in dreissig Gramm durchschnittlich 277,5 mgr. Zucker gefunden wurde, so sieht man, dass hier kein nennenswerter Unterschied in der Wasserstoffatmosphäre eingetreten ist. Die minimale Menge, welche hier bei dem zweiten Versuche weniger erhalten wurde, kann nicht als ein stattgefundener Verlust angesehen werden, weil dieselbe zu gering ist und mit der Zuckerabnahme bei den in atmosphärischer Luft angestellten Parallelversuchen in gar keinem Verhältnis steht. Diese Differenz rührt daher entweder von einem geringen Analysenfehler her, oder ist, was wohl wahrscheinlicher sein dürfte, dem Umstande zuzuschreiben, dass von vornherein nicht mehr Zucker in den Blättern vorhanden war, da der Gehalt daran in den letzteren doch immer etwas schwankt, selbst wenn die einzelnen Blätter sehr sorgfältig ausgesucht werden.

Es ist daher nicht zu bezweifeln, dass der oben nachgewiesene Zuckerverlust in den in atmosphärischer Luft befindlich gewesenen Blättern auf stattgefundener Oxydation beruht, indem dabei Kohlensäure gebildet wurde.

Nun geben aber dreissig Gramm der mit Wasserdampf getöteten Aegopodiumblätter nach vierundzwanzig Stunden bei 20—25 ° C. durchschnittlich 165 mgr. CO_2, [1]) wovon daher ungefähr die Hälfte auf Kosten von vorhanden gewesenem Zucker gebildet sein dürfte.

[1]) Seite 38, wo nach den daselbst angeführten fünf Versuchen von 10 grm Blätter in 24 Stunden bei 20—25 ° C. durchschnittlich 55 grm CO_2 gebildet werden.

Es müssen demnach noch andere Stoffe im Protoplasma der Pflanzenzelle vorhanden sein, die durch den atmosphärischen Sauerstoff unter Ausscheidung von Kohlensäure verbrannt werden.

Werfen wir nun am Schlusse noch einen kurzen Rückblick auf diese Arbeit, so lassen sich die Ergebnisse derselben in folgenden Sätzen ausdrücken.

1) **Die in der lebenden Pflanze durch den Atmungsprocess stattfindende Kohlensäureausscheidung hört mit dem Tode der Pflanze nicht auf, sondern es findet noch postmortale andauernd eine Kohlensäureproduktion statt.**
2) **Dieselbe entsteht auch in dem toten Pflanzenkörper durch Oxydation von oxydierbaren Substanzen mit Hilfe des atmosphärischen Sauerstoffes, und zwar sind es**
   a. **leicht oxydierbare, schon bei niederer Temperatur verbrennbare Körper,**
   b. **solche Stoffe, die ausserhalb der Pflanze bei gewöhnlicher Temperatur durch den Sauerstoff der Luft nicht angegriffen werden, im Innern der Pflanzenzelle aber bei solcher niedrigen Temperatur einer Verbrennung unterliegen, wie ein Verlust an Traubenzucker infolge eingetretener Oxydation beweist.**
3) **Die Quantität dieser noch post mortem auftretenden Kohlensäure ist, wie im lebenden Pflanzenkörper, von der Temperatur abhängig, indem mit zunehmender Temperatur auch eine Steigerung der Kohlensäureproduktion eintritt.**

Fig. 1.

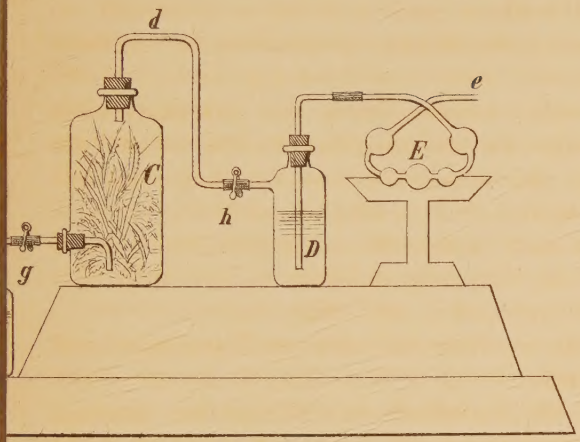
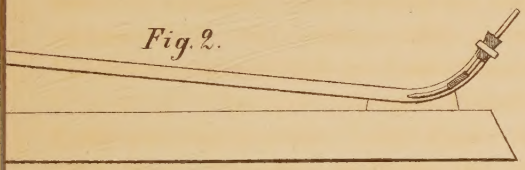


Fig. 2.



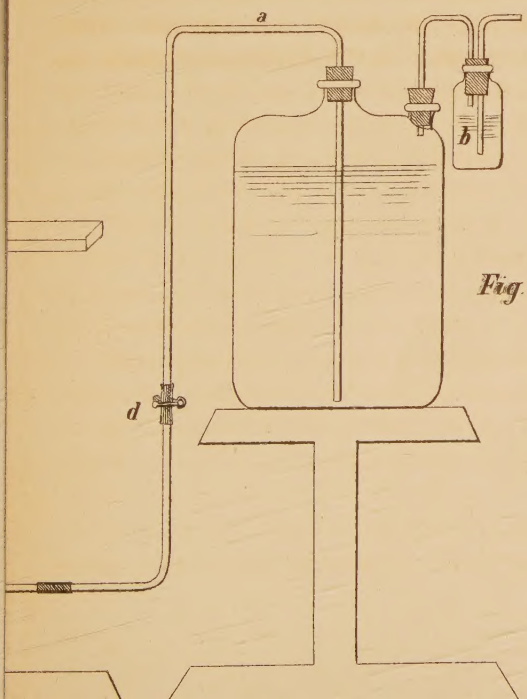


Fig. 3.